

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra kybernetiky a biomedicínského**  
**inženýrství**

**Inteligentní dobíjecí stojan pro elektro-  
mobily a plug-in hybridy**

**Smart charging stand for electric vehicle  
and plug-in hybrids**

## Zadání bakalářské práce

Student: **Luděk Dvořáček**  
Studijní program: **B2649 Elektrotechnika**  
Studijní obor: **2601R004 Měřicí a řídicí technika**  
Téma: **Inteligentní dobíjecí stojan pro elektromobily a plug-in hybridy**  
**Smart Charging Stand for Electric Vehicle and Plug-in Hybrids**

### Zásady pro vypracování:

1. Seznámit se s měřením výkonu na 3-fázových soustavách.
2. Seznámit se s TCP-IP komunikací.
3. Navrhnout modul měření výkonu s přenosem dat přes TCP/IP.
4. Realizace funkčního modelu navrženého řešení.
5. Testování zhotoveného zařízení.
6. Zhodnocení dosažených výsledků.

### Seznam doporučené odborné literatury:

1. HUSAIN, I. *Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals*. 2nd Edition. CRC Press. 2010. 288 s. ISBN-13: 9781439811757.
2. BROWN, R. E. *Electric Power Distribution Reliability*. - New York : Marcel Dekker, c2002. 365 s. ISBN 0-8247-0798-2.
3. LARMINE, J.- LOWRY, J. *Electric Vehicle Technology Explained*. Chichester : Wiley, c2003. 296 s. ISBN 0-470-85163-5.
4. CENEK, M. a kolektiv. *Akumulátory a baterie*. Vyd. 1. Praha : STRO.M, 1996 - 149 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Vala**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

doc. Ing. Jiří Kozíorek, Ph.D.  
vedoucí katedry

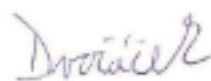


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení

*Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením  
pana ing. Davida Valy.*

*Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.*



.....  
*Luděk Dvořáček*

*Datum odevzdání bakalářské práce: 4. 5. 2012*

## **Poděkování**

*Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Davidu Valovi za cenné rady, konzultace a připomínky spojené s mou prací.*

## **Abstrakt**

Tento projekt se zabývá 3-fázovým měřením spotřeby elektrické energie pomocí integrovaného obvodu ADE7878 a následné odesílání naměřených dat na server pomocí sítě Ethernet. Součástí práce je i fyzické řešení 3-fázového elektroměru a program pro odesílání dat po Ethernetu. Tato práce je vytvořená pro praktické dobíjení elektromobilů a zaplacení za odebranou energii.

## **Klíčová slova**

Elektroměr, Ethernet, ADE7878, I2C

## **Abstract**

This project deals with the 3-phases measurement of electric energy by the integrated circuit ADE7878 and then sending the measured data to the server via Ethernet. The work also physical solutions 3-phases meter and a program for sending data over Ethernet. This work is designed for real recharging electric vehicles and pay for consumed energy.

## **Keywords**

Electric meter, Ethernet, ADE7878, I2C

## **Seznam použitých zkratek a symbolů**

USB - Universal Serial Bus

IO – Integrovaný Obvod

MCU – Mikrokontrolér

DPS – Deska Plošných Spojů

I2C – Inter Integrated Circuit

TCP/IP - Transmission Control Protocol/Internet Protocol

MAC – Media Access Control

IEEE – Institut of Electrical and Electronics Engineers

DHCP – Dynamic Host Configuration Protocol

HW – HardWare

GPS – Global Positioning System

SMD – Surface Mounted Device  
WWW – World Wide Web  
HTTP - HyperText Transfer Protocol  
tzn. – to znamená  
CT – Current Transformator  
VT – Voltage Transformator  
LAN – Local Area Network  
LCD – Liquid Crystal Display  
CAN – Controller Area Network  
GPIO – General Purpose Input/Output  
JTAG – Join Test Action Group  
UART – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter  
PWM – Pulse Widht Modulation  
CPU – Central Processor Unit  
ISO/OSI - International Standards Organization / Open System Interconnection  
UDP – User Datagram Protocol  
ARP – Address Resolution Protocol  
CSMA/CD - Carrier Sense Multiple Access / Collission Detection  
IGMP – Internet Group Management Protocol  
FTP - File Transfer Protocol  
NFS – Network File Systém  
NTP – Network Time Protocol  
SYN – SYNchronize  
ACK - ACKnowledgement  
RFID – Radio Frequency IDentification

## Obsah

1.	Úvod .....	1
1.1	Cíl práce .....	1
2.	Elektroměr .....	2
2.1	Obecná pravidla pro měření proudu, příkonu a výkonu .....	2
2.2	Měření napětí a proudu .....	5
2.3	Měření činného výkonu a příkonu .....	5
2.4	Princip digitálního elektroměru .....	7
2.5	Chyby měření digitálních elektroměrů .....	8
3.	Proudové senzory .....	10
3.1	Bočník .....	10
3.2	Rogowskiho cívka .....	10
3.3	Transformátor proudu .....	12
3.4	LEM .....	13
4.	Napěťový senzor .....	16
4.1	Dělič napětí .....	16
4.2	Napěťový transformátor .....	16
5.	Ethernet .....	17
5.1	Historie Ethernetu .....	17
5.2	Síťový model TCP/IP .....	17
5.3	Přenosová média .....	19
5.4	Vrstva PHY .....	19
5.5	Vrstva MAC .....	20
5.6	Standard IEEE 802.3 .....	20
5.7	Komunikační protokol TCP/IP .....	22
5.8	Problematika přenosu .....	22
5.9	Bezpečnost protokolu TCP/IP .....	23
5.10	Navázání a ukončení spojení v TCP .....	24
5.11	Aplikační protokoly TCP/IP .....	25
5.12	DHCP .....	26
6.	Výběr čipů .....	27
6.1	Výběr integrovaného obvodu pro měření spotřeby .....	27
6.2	Výběr MCU .....	27
6.3	ADE7878 .....	27
6.4	LM3S8962 .....	30



7.	Realizace HW.....	31
7.1	Blokové schéma .....	31
7.2	Schéma zapojení .....	31
7.3	Návrh desky plošných spojů.....	34
7.4	Realizace zařízení a jeho oživení .....	34
8.	Vývoj softwaru .....	36
8.1	Vývojový diagram.....	36
8.2	Zpracování dat z ADE7878 .....	37
8.3	Poslání dat na server .....	37
9.	Měření a testování prototypu.....	39
10.	Závěr.....	43
11.	Seznam použité literatury .....	44
12.	Seznam příloh.....	46
13.	Přílohy .....	47

# 1. Úvod

V dnešní době se řada lidí snaží snížit obsah škodlivých látek v ovzduší a toho se chytají výrobci automobilů. Začínají stále více uvažovat o alternativních méně škodlivých zdrojích energie k pohánění dopravních prostředků. Jako nejefektivnější se jeví elektrická energie (elektromobil). Jeho nejdůležitější součástí je elektromotor a baterie. V dnešní době patří k neméně důležitým součástím elektromobilu komunikace s uživatelem (stav vozu, stav baterie, dojezd, přehled o dobíjecích stanicích pomocí GPS a spoustu dalších).

Hlavním cílem dobíjecí stanice je umožnit zákazníkovi dobít elektromobil a sdělit mu kolik za nabití elektromobilu zaplatí. Většina dobíjecích stanic funguje na principu: „přijdeš – přiložíš kartu – zadáš pin – nabíjíš“.

## 1.1 Cíl práce

Prvním cílem bakalářské práce je nastudování celé problematiky zadaného tématu. Seznámit se s měřením výkonu na 3-fázových soustavách a taky se seznámit s problematikou přenosu dat po ethernetu. To je se síťovým modelem, komunikačními protokoly a bezpečností TCP/IP. Dále se seznámit se standardy a přenosovými médii.

Dalším cílem bakalářské práce je vhodně zvolit čip pro měření výkonu na 3-fázové soustavě a vhodně zvolit mikroprocesor, kterým se bude programovat čip a bude s ním komunikovat po I2C. Dále mikroprocesor musí obsahovat komunikaci po ethernetu a musí být dostupný na vývojovém kitu. Další výhodou bude, když bude vývojový kit k mikroprocesoru obsahovat i displej pro zobrazení a ověření funkčnosti komunikace. Měřicí čip musí měřit přímo spotřebu elektrické energie. Měl by mít možnost volby proudového senzoru a musí být možnost k němu pořídit vývojový kit.

Jakmile bude toto všechno splněno, můžu začít navrhovat modul měření spotřeby s přenosem dat přes TCP/IP, kde se musí první zvolit senzory napětí a proudu. Jako senzor napětí bude nejlepší klasický dělič napětí. Jako senzor proudu bude nejlepší Rogowskiho cívka, protože má lineární charakteristiku a je jednoduchá na sestrojení, díky tomu si ji můžu sestavit sám.

Po sestrojení Rogowskiho cívky se může navrhnout DPS modulu měření výkonu. DPS musí obsahovat měřicí čip, antialiasing filtr u proudových senzorů, dělič napětí, ochranné diody proti přepětí, galvanické oddělení, napájecí zdroj pro měřicí čip a vyvedené konektory pro komunikaci po I2C.

Pokud je na DPS vše, tak se může začít realizovat fyzicky. Po vytvoření DPS se DPS osadí součástkami, změří a otestuje.

Nakonec se nahraje do MCU vytvořený program, který nakonfiguruje měřicí čip a bude číst správné registry čipu a posílat je přes TCP/IP na server. Otestuje se funkčnost celého modulu pro měření spotřeby a její následné odesílání na server.

## 2. Elektroměr

Elektroměr je elektrický měřicí přístroj, který měří množství odebrané elektrické energie, tj. práci elektrického proudu. Na jeho základě probíhá stanovení spotřebované elektrické energie. Elektroměry fungují jako dokonalé integrátory, integrují výkon v čase. Fungují na podobném principu jako wattmetry (napěťová a proudová cívka).

Práci stejnosměrného proudu ve starých stejnosměrných sítích měřily elektroměry obsahující stejnosměrný motorek a počítadlo. Při měření spotřeby elektrické energie ve střídavých jednofázových i trojfázových sítích se používají indukční elektroměry pro měření činné energie  $W$ .

Dnes se používají elektroměry pro měření práce střídavého proudu a dělí se na:

- elektroměry pro měření činné energie
- elektroměry pro měření jalové energie
- více sazbové elektroměry
- měřidla pro měření maximální spotřeby

Podle principu měřicí soustavy dělíme elektroměry na:

- indukční elektroměry
- elektronické impulzní elektroměry

### 2.1 Obecná pravidla pro měření proudu, příkonu a výkonu

#### Elektrické napětí: $U$ – Volt [V]

Je určeno jako práce vykonaná elektrickými silami při přemísťování kladného jednotkového elektrického náboje mezi dvěma body v prostoru. Elektrické napětí lze také vyjádřit jako rozdíl elektrických potenciálů v obou bodech v prostoru.

*Definice:* Napětí 1 V je takové napětí, které je mezi konci vodiče, do kterého konstantní proud 1 A dodává výkon 1 W. V takovém případě má vodič odpor 1  $\Omega$ .

$$U = I * R \quad (2.1) [2]$$

Napětí dělíme na:

*Stejnoseměrné napětí* - je takové napětí, které nemění v čase svoji polaritu, velikost měnit může.

*Střídavé napětí* - je napětí, které se v čase mění s určitou periodou, přičemž jeho střední hodnota nemusí být nulová. Časový průběh napětí může být libovolný, nejčastěji se můžeme setkat se sinusovým průběhem. Dalšími průběhy mohou být pilovité, obdélníkové nebo libovolné jiné. Toto napětí můžeme popsat vztahem

$$u(t) = U_{max} * \sin(\omega t) \quad (2.2) [2]$$

kde:  $U_{max}$  – amplituda napětí  
 $\omega$  – úhlová frekvence  
 $t$  - čas

V praxi se mohou vyskytovat napětí, která mají jak střídavou, tak stejnosměrnou složku. Efektivní hodnota střídavého napětí je takové napětí stejnosměrného proudu, při kterém se ve stejném vodiči vytvoří stejné množství tepla. [2]

### **Elektrický proud I – Ampér[A]**

Je to uspořádaný pohyb nosičů elektrického náboje. Značí se písmenem I a vyjadřuje množství náboje prošlého za jednotku času. Proud v běžných elektrických rozvodech může být stejnosměrný a střídavý.

*Definice:* Elektrický proud je roven celkovému množství elektrického náboje, které projde průřezem vodiče za jednotku času.

#### **Stejnoseměrný proud:**

Stejnoseměrný proud je takový proud, který v čase nemění směr svého toku. Velikost proudu se měnit může.

$$I = \frac{U}{R} \quad (2.3)[2]$$

#### **Střídavý proud:**

Střídavý proud je proud, jehož velikost a směr se v čase mění s určitou periodou, přičemž jeho střední hodnota je nulová. Střídavý proud je proměnný proud se sinusovým (harmonickým) průběhem. Další průběhy mohou být například pilovité, obdélníkové nebo libovolné jiné. Po připojení zátěže začne obvodem protékat proud, popsáný vztahem [2]

$$i(t) = I_m * \sin(\omega t + \varphi_0 + \varphi) \quad (2.4)[2]$$

kde:  $I_m$  - amplituda střídavého proudu  
 $\omega$  - úhlová frekvence  
 $\varphi_0$  - je počáteční fáze střídavého napětí  
 $\varphi$  - fázový posuv mezi napětím a proudem  
 $t$  - čas

### **Výkon P – Watt [ W ]**

Je to práce vykonaná za jednotku času, měříme ji wattmetrem. Zdroj výkon odevzdává a spotřebič ho odebrává, výkon odebraný spotřebičem se nazývá příkon [W]. Výkon střídavého proudu je úměrný napětí U, proudu I a účinnosti  $\cos \varphi$ . [2]

Výkon může být: - stejnosměrný

- střídavý

Výkon v obvodu napájeném ze stejnosměrného zdroje je výkon odebíraný zátěží, značíme ji  $P$  a jednotkou je W (watt):

$$P = U * I \quad (2.5) [2]$$

Při měření výkonu střídavého proudu je součin okamžitých hodnot napětí a proudu okamžitý výkon:

$$p(t) = u(t) * i(t) \quad (2.6) [2]$$

### **Elektrický příkon $P$ – Watt [ W, kW ]**

Elektrický příkon udává energetickou náročnost elektrického zařízení. Jeho základní jednotkou je Watt. V praxi se velmi často používá odvozená jednotka kilo-Watt (1kW). [2]

Elektrický příkon ve stejnosměrné soustavě:  $P = U * I \quad (2.7) [2]$

Elektrický příkon ve střídavé 1f soustavě:  $P_{AC1f} = U * I * \cos\varphi \quad (2.8) [2]$

### **Účinnost $\eta$ - [ % ]**

Je to poměr výkonu a příkonu. U elektrických strojů a přístrojů rozlišujeme výkon, který spotřebiči dodáváme tzv. příkon  $P_1$  a užitečný výkon  $P_2$ . Rozdíl mezi příkonem a výkonem tvoří ztráty, které se nejčastěji mění v teplo. [2]

Výpočet účinnosti:

$$\eta = \frac{P_1}{P_2} * 100 \quad (2.9) [2]$$

### **Spotřebovaná elektrická energie $W$ - Watthodina [ Wh, kWh ]**

Spotřebovaná elektrická energie je definovaná jako odebíraný příkon za jednotku času. Používanou jednotkou je kilo-Watt-hodina. Celková spotřebovaná energie za daný časový úsek se vypočítá jako integrál činného výkonu podle času. [2]

$$W = \int_{t_0}^{t_1} p_c(t) dt = \int_{t_0}^{t_1} u(t) i(t) \cos\phi dt \quad (2.10) [2]$$

### **Účinník $\cos \phi$ - [-]**

Účinník  $\cos \phi$  vyjadřujeme podílem mezi činným a zdánlivým příkonem v elektrickém obvodu střídavého proudu. Vyjadřuje, jak velkou část zdánlivého výkonu lze přeměnit na užitečnou

energii. Účinník závisí na vzájemném fázovém posuvu proudu a napětí. Je bezrozměrný a jeho hodnota se pohybuje se od 0 do 1, přičemž jednotkový účinník znamená, že celý výkon je činný (fázový posuv je nulový), nulový účinník znamená, že celý výkon je jalový, zátěž je čistě kapacitní nebo čistě indukční a fázový posuv je tedy  $\pm 90^\circ$ . Nízké hodnoty účinníku znamenají v obvodu vyšší ztráty energie. Účinník  $\cos \phi$  by se měl pohybovat mezi hodnotami 0,95 až 0,99. [2]

$$\cos \phi = \frac{P_{AC1f}}{S} \quad (2.11) [2]$$

## 2.2 Měření napětí a proudu

Prvním krokem pro měření výkonu je měření velikostí proudu a napětí. Integrované měřiče pracují s hodnotami napětí, které jsou podstatně menší než hodnoty vyskytující se v rozvodné síti. Proto je potřeba vhodnou metodou transponovat vysokonapěťové hodnoty na jejich nízkonapěťovou reprezentaci.

Pro měření napětí:

- Použití odporového děliče
- Použití napěťového transformátoru

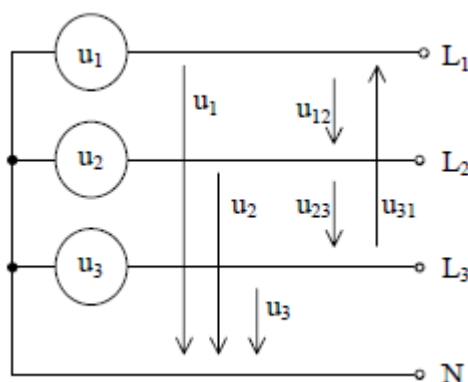
Pro měření proudu

- Použití bočníku
- Použití Rogowskiho cívky
- Použití napěťového transformátoru
- Použití Hallové sondy (LEM)

## 2.3 Měření činného výkonu a příkonu

### Měření výkonu střídavého třífázového proudu

Trojfázový proud vzniká sdružením proudů z každé fáze. Trojfázová elektrická energie se rozvádí soustavou třívodičovou nebo čtyřvodičovou. Třívodičová soustava může vzniknout i ze čtyřvodičové soustavy vynecháním nulového vodiče. Zatížení v obou soustavách bývá souměrné (všechny fáze stejně zatížené) nebo nesouměrné. Metodu měření výkonu volíme podle soustavy a podle druhu zatížení. Činný výkon v třífázové soustavě je dán součtem výkonů v jednotlivých fázích kde  $U_1, U_2, U_3$  je fázové napětí,  $I_1, I_2, I_3$  je proud fázi a  $\phi_1, \phi_2, \phi_3$  úhel mezi příslušnými napětími a proudy. [1]



Obr. 2.1 Třívodičové měření [1]

Při měření třífázového činného výkonu může být několik variant konfigurace sítě, v níž měříme:

Napájecí síť je obecná:

- má přístupný nulový vodič = čtyřvodičová síť
- nemá přístupný nulový vodič = třívodičová síť

Obecná síť znamená obecné velikosti fázových napětí a obecné úhly mezi nimi. Zvláštním případem je souměrná síť tzn., že fázová napětí mají stejnou velikost a úhly mezi nimi jsou  $120^\circ$ . Mezi fázemi je sdružené napětí. Jejich fázory tvoří rovnostranný trojúhelník. Sdružené napětí je 3 krát větší než fázové.

Zátěž je:

- obecná
- souměrná

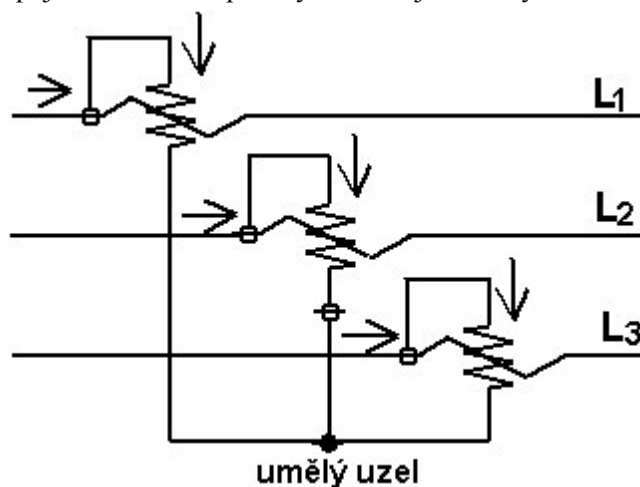
Podle Blondelova teorému v  $n$ -vodičové soustavě můžeme správně změřit činný výkon zátěže nejméně  $n-1$  wattmetry. Měření je správné při obecné soustavě napětí i obecné zátěži a i při nesinusovém průběhu proudu. Je zatíženo chybou metody způsobenou vlastní spotřebou měřicích systémů a chybou danou přesností přístrojů. [1]

### Měření výkonu v 3-fázové soustavě třívodičově

V praxi se měření v soustavě třívodičové při rozvodu trojfázové elektrické energie používá při zapojení do hvězdy bez nulového vodiče nebo při zapojení do trojúhelníku. Pokud máme přístroje, které nelze připojit na sdružené napětí třívodičové soustavy, můžeme vytvořit tzv. umělou nulu a to tak že zapojíme tři stejné rezistory do hvězdy na třívodičovou síť. Uzel této hvězdy má potom potenciál středního vodiče. [1]

### Nesouměrná zatížená třífázová soustava:

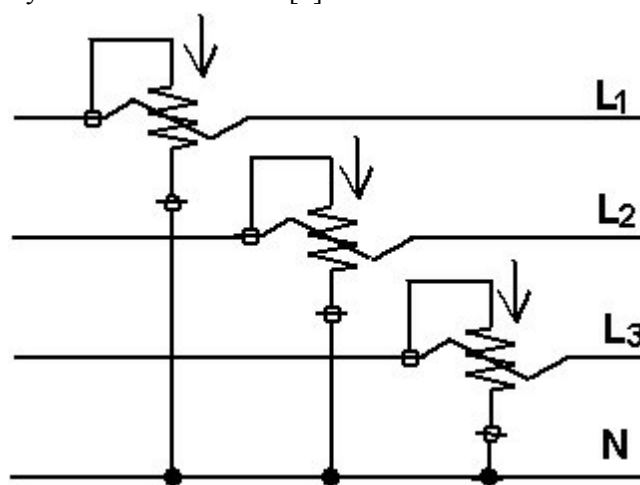
Při nesouměrném zatížení v třívodičové soustavě se použijí tři wattmetry a jejich výkon se sečte. Uzel se vytvoří spojením konců napětových cívek jednotlivých wattmetrů.



Obr. 2.2 Zapojení do hvězdy [1]

### Nesouměrně zatížená třífázová soustava čtyřvodičově

Při nesouměrném zatížení, kdy se spotřebiče připojují jednak mezi fázové vodiče a mezi fázový vodič a nulový vodič (elektromotory, žárovky a jiné spotřebiče), se použijí tři wattmetry. Celkový výkon se vypočítá podle vzorce  $P = P_1 + P_2 + P_3$ . Tři wattmetry se musí použít proto, že v každé fázi může mít výkon různou velikost. [1]



Obr. 2.3 Zapojení do hvězdy [1]

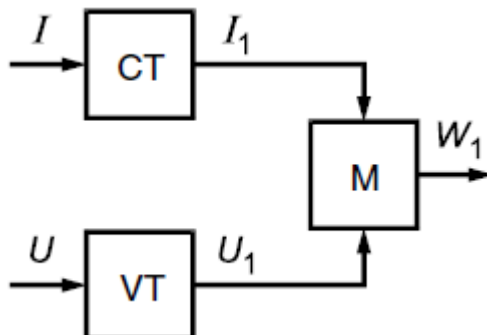
## 2.4 Princip digitálního elektroměru

Digitální elektroměr pracuje na zcela odlišném principu než elektroměr elektromechanický. Na rozdíl od analogového elektroměru neexistuje jeden všeobecně používaný princip, ale hned několik principů pro zjišťování proudů a napětí v obvodě, tak pro jejich násobení a zpracování.



## 2.5 Chyby měření digitálních elektroměrů

Pro popis chyb digitálních elektroměrů budeme vycházet z uspořádání zařízení na Obr. 2., kde CT je proudový transformátor, M je měřič a VT je napěťový transformátor.



Obr. 2.4 Schematické uspořádání digitálního měřiče [3]

Průběhy veličin i se systematickými chybami popisuje sada rovnic:

$$U = U_m \cdot \sin \omega t; \quad U_1 = U_m(1 + \delta_U + \delta_I) \sin(\omega t + \theta_U) \quad (2.12)[3]$$

$$I = I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi); \quad I_1 = I - m(1 + \delta_I) \sin(\omega t + \varphi + \theta_I) \quad (2.13)[3]$$

$$W = \int_0^T IU dt; \quad W_1 = (1 + \delta_{ma}) \int_0^T I_1 U_1 dt \quad (2.14)[3]$$

$$\delta_W = 100\% \frac{W_1 - W}{W} \quad (2.15)[3]$$

kde:

$U$  a  $I$  - okamžité hodnoty napětí a proudu na vstupu transformátorů

$\omega$  - úhlová rychlost

$t$  - čas

$\varphi$  - fázový posuv mezi proudem a napětím

$U_1$  a  $I_1$  - hodnoty napětí a proudu na vstupu měřiče

$U_m$  a  $I_m$  - amplitudy napětí a proudu

$\delta_U, \delta_I, \delta_{ma}, \delta_{mr}, \delta_l$  - systematické složky chyb po řadě napěťového transformátoru,

proudového transformátoru, měření činné a reaktivní složky výkonu, ztrát v přírodních vodičích mezi transformátory a měřičem

$\theta_U$  a  $\theta_I$  - chyby fáze napěťového a proudového transformátoru

$W$  - hodnota práce neovlivněná chybami

$W_1$  - hodnota práce změřená zařízením a

$\delta_W$  - chyba změřené práce vyjádřená v procentech

Řešením uvedených rovnic a vynecháním členů druhého řádu nevýznamnosti dostaneme následující vztahy pro výsledné chyby měření [3]:

$$\delta_{Wa} = 0,029 \tan \varphi (\theta_I - \theta_U) + (\delta_I + \delta_U + \delta_l + \delta_{ma}) \quad (2.16)[3]$$

$$\delta_{Wr} = 0,029 \cot \varphi (\theta_I - \theta_U) + (\delta_I + \delta_U + \delta_l + \delta_{mr}) \quad (2.17)[3]$$

### 3. Proudové senzory

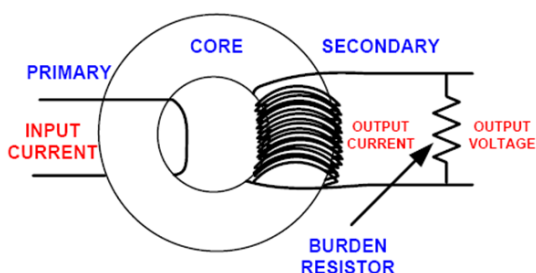
Tato kapitola se zabývá rozbořem a možnostmi snímání proudu. Je zde rozebrána problematika měření jednotlivými senzory a jsou zde uvedeny výhody a nevýhody jejich použití.

#### 3.1 Bočník

Jako proudový senzor funguje velmi malý odpor, který je připojen sériově k zátěži a protéká jím stejný proud jako zátěží. Na bočník jsou kladeny vysoké nároky na množství vyzařovaného tepla a tepelné stability, protože při měření velkých proudů vzniká relativně velký ztrátový výkon. Při měření bočníkem je zapotřebí počítat s ovlivňováním hodnoty měřeného proudu samotným bočníkem. Bočník taky vykazuje parazitní indukčnost, se kterou je potřeba počítat a vhodně ji kompenzovat zařazením RC článku. Poslední nevýhodou je, že bočník je přímo připojen na vysokonapěťový měřený obvod. Bočník má i své výhody, mezi než patří nízká cena a linearita ve velkém rozsahu hodnot. [4]

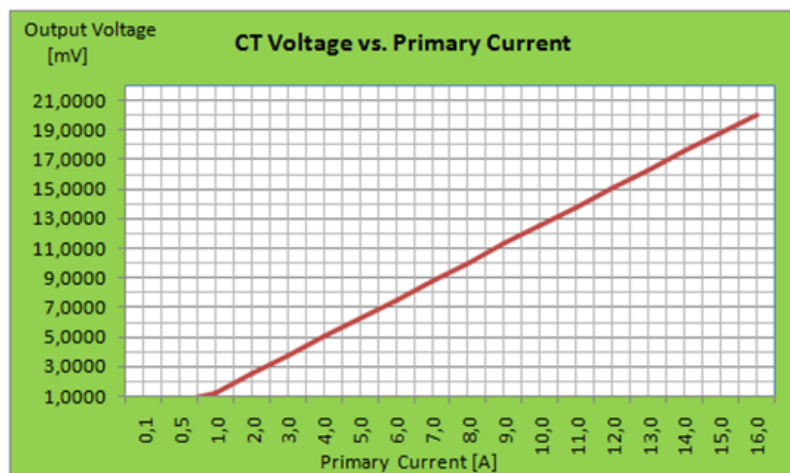
#### 3.2 Rogowskiho cívka

Pro bezkontaktní a zároveň velmi přesné měření střídavého proudu se dnes nejčastěji využívá tzv. Rogowského cívky. S její pomocí se silový proud převádí na lineární hodnotu napětí. Jde tedy o bezkontaktní měření proudu proudovým transformátorem se vzduchovým jádrem, viz. Obr. 3.1



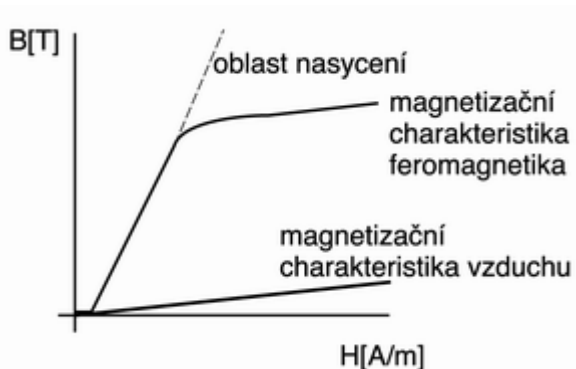
Obr. 3.1 Schéma Rogowskiho cívky (CORE = vzduchové jádro)[6]

Rogowského cívka patří do skupiny proudových transformátorů s rozsahem od 0,1 do 80 A. Vzhledem k tomu, že velikost indukovaného napětí je při malých proudech velice nízká, musí se pro měření použít speciální technologie. Výstupní napětí Rogowského cívky je přímo úměrné primárnímu proudu. Na Graf 1 vidíme závislost výstupního napětí a měřeného proudu na Rogowskiho cívce při zatížení odporem  $R_B = 10 \text{ k}\Omega$ . [6]



Graf 1 Závislost výstupního napětí na velikosti protékaného proudu [6]

Nevýhodou Rogowského cívky je měření proudů pod 1 A. Například při měření 100 mA je na výstupu Rogowského cívky dostupné napětí pouze 125  $\mu\text{V}$ .



Graf 2 lineární závislosti vzduchu (vzduchové Rogowského cívky) [5]

### Princip Rogowského cívky

Rogowskiho cívka snímá magnetické pole kolem vodiče a Ampérův zákon poskytuje vztah mezi tokem proudu a magnetickým polem kolem vodiče. Ampérův zákon můžeme formulovat tak, že cirkulace vektoru  $\vec{H}$  je rovna celkovému proudu, který protíná integrační dráhu. Zákon celkového proudu můžeme psát v obvyklé formě [7]:

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_k I_k \quad (3.1) [7]$$

Rogowského cívka jako měřicí prvek měří změny proudu ve sledovaném vodiči díky indukovanému napětí ve vodiči cívky. Princip je tak podobný jako u běžného transformátoru. To znamená, že střídavý proud sledovaného vodiče vytváří kolem sebe střídavé magnetické pole, které způsobí indukci napětí ve vodiči toroidní vzduchové (Rogowského) cívky. Výsledné napětí je tak úměrné změně magnetického toku a tedy i hodnotě střídavého proudu, který ho vyvolal. [5]

Z pohledu magnetického obvodu je cívka s měřeným vodičem spojena vzájemnou induktivní vazbou  $M$ . Výstupní napětí cívky je tak definováno následujícím vztahem:

$$U_{\text{VÝSTUPNÍ}} = M \frac{dI}{dt} \text{ nebo } U_{\text{VÝSTUPNÍ}} = 2\pi fIM, \quad (3.2) [5]$$

kde:

$M$  - vzájemná indukčnost

$I$  - měřený proud

$f$  - frekvence

Nejlepší metodou pro zpracování napěťového výstupu cívky je napětí elektronicky integrovat. Integrovaný výstup je frekvenčně nezávislý a přesně reprezentuje průběh měřeného proudu. Použitím vhodných integrátorů lze použít ohebné cívky na měření proudů v rozsahu od méně než jednoho ampéru až do několika milionů ampér.[5]

### Vlastnosti Rogowského cívky

Pevné Rogowského cívky mají větší přesnost a stabilitu než ohebné cívky a jsou mimořádně odolné proti rušení způsobené vnějšími magnetickými poli. Jsou vhodnější na měření malých proudů a nižších frekvencí než ohebné cívky. Na měření proudů se cívky se používají společně s vhodným integrátorem. Určitým nedostatkem tohoto řešení je malé výstupní napětí (cca 1 mV/A).

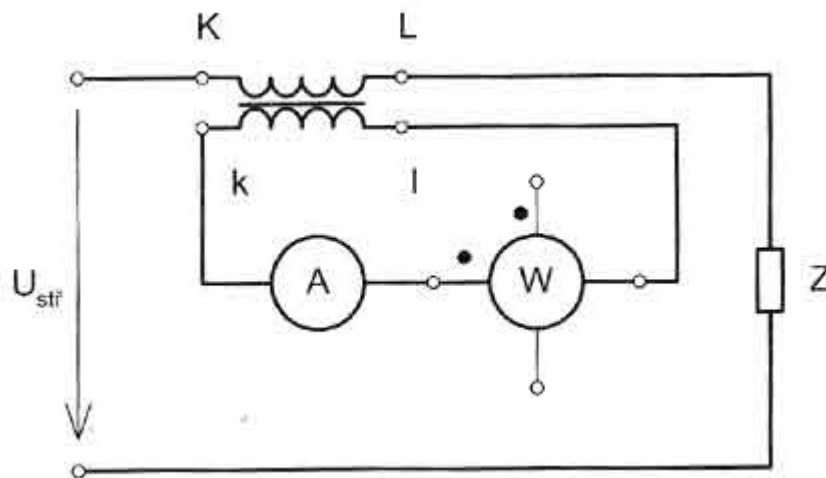
Z pohledu frekvenčního rozsahu je horní jeho hranice určena vlastní rezonancí cívky, která závisí na její konstrukci, resp. hodnoty vzájemné indukčnosti. Cívky s 300 nH lze použít na měření do nejméně 100 kHz. Kratší cívky s nižší vzájemnou indukčností (až 30 nH) mají horní hranici frekvenčního rozsahu vyšší (až 1 MHz). Dolní frekvenční limit závisí na vlastnostech použitého integrátoru. Ten také určuje proudový rozsah. Při použití vhodných integrátorů lze použít ohebné cívky na velmi přesné měření proudů v rozsahu od méně než 1 A až do několika milionů ampér. [5]

### 3.3 Transformátor proudu

Měřicí transformátor je měřicí převodník, který není součástí měřících přístrojů. Slouží ke změně velikosti měřeného proudu a galvanicky odděluje primární a sekundární obvod. Podíl primárního proudu k sekundárnímu se nazývá jmenovitý přenos  $p$  a je udáván zlomkem (100/5A – znamená, že proud 100A je snížen na 5A.

Při měření měřícím transformátorem proudu se nesmí rozpojit sekundární obvod, dokud primárním vinutím prochází proud. Pokud dojde k rozpojení je jádro magnetováno primárním proudem do nasycení. Magnetická indukce pak má obdélníkový průběh a indukované napětí dosahuje vysokých špičkových hodnot. Měřicí transformátory proudu mají na sekundární straně zkratovací zařízení protože, když napětí dosahuje špičkových hodnot, může dojít k průrazu izolace mezi primárním a sekundárním vinutím nebo úrazu elektrickým proudem.

Zapojení do obvodu se provádí podle Obr. 3.2. Primární vinutí se připojí do série se zátěží, kterou protéká měřený proud a na sekundární vinutí měřicího transformátoru se připojují jednotlivé přístroje (ampérmetr, proudová cívka wattmetru, elektroměr adt.) sériově.[8]

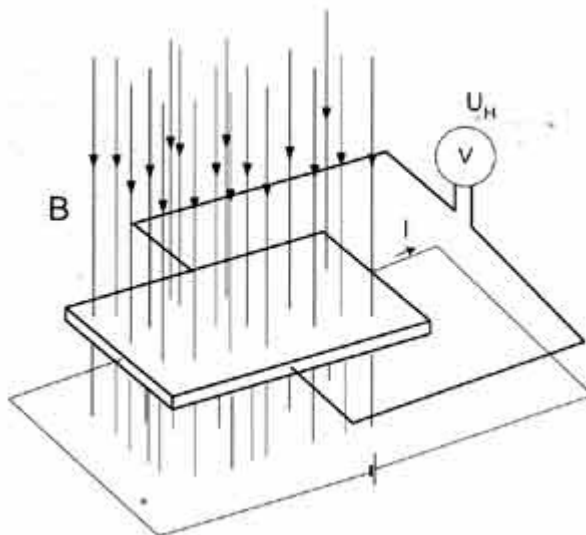


Obr. 3.2 Zapojení měřicího transformátoru do obvodu. [8]

### 3.4 LEM

#### Hallův jev

V roce 1879 objevil americký fyzik Edwin Herbert Hall, že magnetické pole kolmé na elektrický proud způsobuje zvláštní jev: volné nosiče elektrického proudu jsou ve vodiči vychýlovány z podélného směru a vytlačovány k okraji. Příčinou této odchylky je elektromagnetická Lorentzova síla. Mezi okraji vodiče se tedy vytvoří rozdíl potenciálů, kolmý na směr proudu.



Obr. 3.3 Hallův jev [9]

Napětí  $U_h$  je Hallovo napětí a tenká polovodičová destička zapojená podle nákresu se nazývá "Hallův generátor" (Hallova sonda). V nenasyceném stavu existuje mezi magnetickým polem a Hallovým napětím lineární vztah. Hallovo napětí je velmi malé, pouze několik milivoltů. Vložíme-li destičku polovodiče do magnetického pole a necháme-li jí příčně protékat stejnosměrný

proud, objeví se na opačných hranách destičky tzv. Hallovo napětí, jehož velikost je dána vztahem [9]:

$$U_H = k \cdot I \cdot B \quad (3.3)[9]$$

kde:

- k - konstanta závislá na materiálu, tloušťce a struktuře polovodičové destičky
- I - stejnosměrný proud protékající destičkou
- B - indukce magnetického pole, v němž se destička nachází

### Hallův jev v proudových snímačích

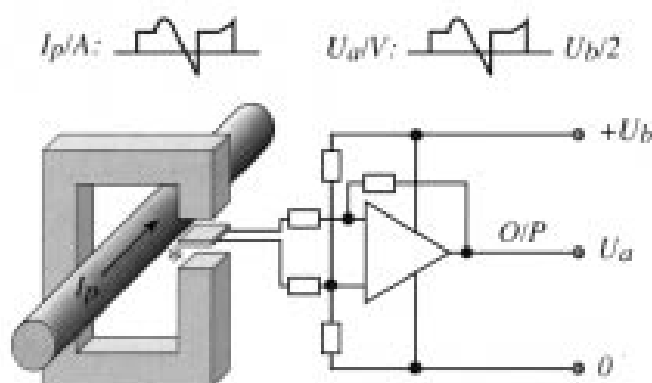
Tradiční metody měření proudů pomocí bočníků nebo proudových transformátorů se vyznačují řadou nevýhod:

- ztráta výkonu v měřeném obvodu,
- ovlivňování měřeného obvodu,
- galvanické spojení vyžaduje zvláštní izolační zesilovač,
- omezená šířka frekvenčního pásma.

Firma Honeywell propracovala dva principy analogového měření proudů: princip otevřené smyčky a princip uzavřené smyčky, která kompenzuje magnetické pole. Oba principy jsou vhodné pro galvanicky oddělené měření všech průběhů proudu včetně proudu stejnosměrného.

#### Princip otevřené smyčky:

Základní funkční princip detekce proudu je založen na měření magnetického pole, které se vytváří kolem vodiče protékaného proudem. Je-li vodič veden otvorem v magnetickém obvodu proudového snímače, magnetický tok je soustředěn do vzduchové mezery, v níž je umístěn Hallův generátor (viz. Obr. 3.4). Výstupní signál  $U_H$  Hallova generátoru tedy závisí na proudu vodičem. [10]



Obr. 3.4 Princip otevřené smyčky [10]

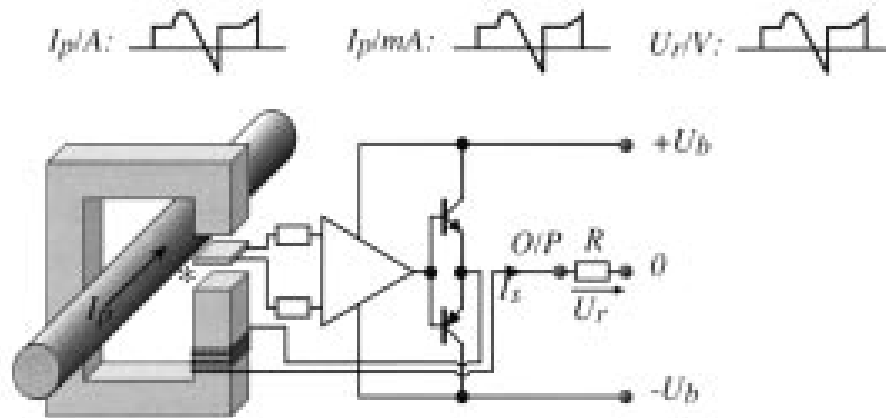
Výhody otevřené smyčky:

- Nízká proudová spotřeba nezávislá na měřené hodnotě

- Velmi kompaktní konstrukce bez sekundárního vinutí
- Vysoká odolnost vůči přetížení

### Princip uzavřené smyčky

Magnetický tok vytvářený primárním proudem je zcela vyrovnáván opačným magnetickým tokem vinutí kolem magnetického obvodu. Každá odchylka od nulového vyvážení vede k Hallovu napětí Hallova generátoru. Elektronický obvod ihned dodá sekundární proud  $I_s$  potřebný ke kompenzaci magnetického pole. Tento proud dělený počtem závitů kolem magnetického obvodu představuje skutečný obraz primárního proudu (Obr. 3.5).[10]



Obr. 3.5 Princip uzavřené smyčky[10]

Výhody uzavřené smyčky:

- Vysoká přesnost
- Velká šířka pásma
- Velmi rychlá odezva
- Výborná linearita
- Vysoká přetížitelnost



## 4. Napět'ový senzor

Tato kapitola je věnována rozboru problematiky nejpoužívanějších napět'ových senzorů a jejich výhody a nevýhody.

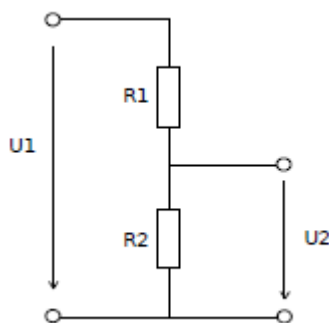
### 4.1 Dělič napětí

Nejpoužívanější volbou pro utlumení napětí v síti na hodnotu vstupu měřiče je rezistorový dělič napětí. Základní zapojení je na obr.5.1. Výhoda děliče napětí je jeho cena, protože rezistory jsou základní součástky a tudíž velmi levné oproti například proudovému transformátoru.

Vysokou hodnotu odporu  $R_1$ , na kterém je téměř celé napětí sítě, je dobré rozdělit do série menších odporů. To především platí pro provedení v SMD, protože SMD rezistory mají tendenci měnit svoje vlastnosti, pokud jsou trvale vystaveny vysokému napětí.

Další výhoda napět'ového děliče spočívá v jeho snadné rozšiřitelnosti. Dělič můžeme použít pro pevnou kalibraci přístroje. Když vytvoříme dělič jako delší sérii vhodně odstupňovaných hodnot odporů a zároveň přizpůsobíme desku, tak abychom mohli jednoduše zkratovat jednotlivé odpory (jednoduchá kalibrační metoda pro napět'ový kanál). Je potřeba mít na paměti, že mezi prvním a posledním rezistorem je prakticky celé napětí sítě, tudíž napětí zdraví nebezpečné.

Alternativou k děliči napětí je použití signálového napět'ového transformátoru. Tato alternativa je výrazně dražší než dělič napětí. Na druhou stranu ale poskytne galvanické oddělení obvodů měřiče od vysokonapět'ové části.[11]



Obr. 4.1 Obecné schéma napět'ového děliče.

### 4.2 Napět'ový transformátor

U skutečného transformátoru dochází k úbytkům napětí na odporech vinutí a na rozptylových indukčnostech reaktancí obou vinutí. Z toho plyne, že měřicí napět'ové transformátory způsobují chybu převodu a chybu fáze. Měřicí transformátor napětí se vzhledem k malým impedancím vinutí chová jako zdroj napětí. Při zkratu na sekundárních svorkách může dojít ke zničení transformátoru velkými zkratovými proudy. Proto musí pracovat blízko stavu naprázdno – v sekundáru je připojen velký odpor. Nelze ho použít tam, kde by docházelo k magnetování jádra stejnosměrnou složkou průběhu. Jeho výhodou je malá spotřeba.[11]

## 5. Ethernet

Tato kapitola se zabývá problematikou komunikace po ethernetu. Je zde uvedena taky jeho historie, přenosové média, bezpečnost přenosu a jsou zde podrobně rozebrány vlastnosti jeho součástí od fyzické vrstvy až po aplikační protokoly.

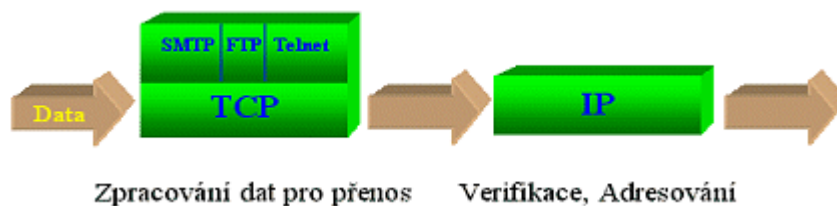
### 5.1 Historie Ethernetu

U zrodu Ethernetu stála firma Xerox, která na začátku 70. let dvacátého století potřebovala propojit sériovým mnohobodovým spojem vždy několik počítačů s tiskárnou, svým výrobkem. První varianta Ethernetu umožňovala propojit až 100 účastníků komunikačního procesu na vzdálenost 1000m při přenosové rychlosti 3 Mb/s. Následující výzkum, financovaný konsorciem známým jako DIX (firmy Digital Equipment Corporation – DEC, Intel a Xerox), vedl na konci 70. let k dokončení vývoje a začátkem 80. let ke standardizaci Ethernetu jako mezinárodního standardu IEEE 802.3 (následně ISO 8802.3) s přenosovou rychlostí 10 Mb/s na topologii typu sběrnice s použitím „tlustého“ koaxiálního kabelu. V posledních patnácti letech byl učiněn velký pokrok jak ve strukturalizaci kabeláže (sběrnice byla nahrazena stromem), ve zmenšení kolizních domén, tak zejména v nárůstu rychlosti přenosu na 100 Mb/s, dále na 1 Gb/s a nakonec na 10 Gb/s. Přitom je již nyní zřejmé, že rychlost přenosu dále poroste. V současné době je Ethernet používán téměř ve všech místních sítích především k propojení počítačů a sdílených periférií navzájem mezi sebou. K jeho dalšímu šíření přispívá i jeho popularita, která je stále více podporována pozicí Ethernetu v roli fyzického základu internetu.[16]

### 5.2 Síťový model TCP/IP

Síťový model TCP/IP vychází z OSI modelu, ale upravuje jej, aby byl více flexibilní.

1. Aplikační vrstva - Do této vrstvy přímo zasahují jednotlivé aplikace.
2. Transportní vrstva - (TCP)
3. Síťová vrstva - (IP)
4. Vrstva síťového rozhraní - Tato vrstva se netýká přímo TCP/IP, neboť zde se přímo použijí fyzické přenosové protokoly jednotlivých druhů sítí (Ethernet, Token Ring....)



Obr. 5.1 Protokolová sada TCP/IP a vztahy mezi protokoly a jejich funkcemi [17]

## 1. *Aplikační vrstva*

Třetí vrstva (počítáno od nulté) na rozdíl od ISO/OSI neobsahuje různé podpůrné prostředky pro např.: konverzi dat, komprimaci, šifrování, synchronizaci přenosu atd. Toto všechno musí být již naprogramováno v aplikaci. Tato vrstva slouží pouze k napojení pro uživatelského rozhraní dané aplikace, ze které probíhá další ovládání.

## 2. *Transportní vrstva*

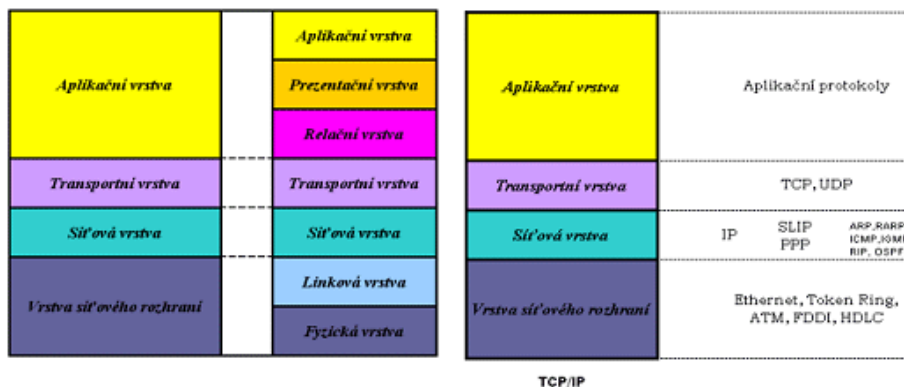
Dalo by se očekávat, že když síťová vrstva neobsahuje mechanismy spolehlivosti, tak ji bude obsahovat vrstva nad ní, tedy vrstva transportní. Pravda je však někde uprostřed. Tato „nedodělanost“ vychází z praktických zkušeností. Některé aplikace nepotřebují prvky spolehlivosti přenosu vůbec žádné a některé se naopak bez nich vůbec neobejdou. V konečném důsledku se používají dva protokoly TCP a UDP. TCP zajišťuje určitou míru spolehlivosti, kdežto UDP nikoliv.

## 3. *Síťová vrstva*

Tato vrstva je navržena pro co možná maximální přenosovou rychlost na úkor spolehlivosti. Se spolehlivostí se autoři vypořádali tak, že při navrhování přenechali tyto starosti vyšším vrstvám tohoto modelu. Ovšem není pravdou, že by se tato vrstva vůbec nestarala o bezchybný přenos, pouze nepovažuje za svou povinnost starat se o jakoukoliv nápravu, když se některá data při přenosu poškodí. Samotná data posílá po blocích (datagramech) a to nespojitě. Data vyšle v bloku (jako u e-mailu), který obsahuje cílovou adresu. Tímto způsobem je zabezpečena dosti velká robustnost při přenosu, protože dojde-li někde na již zvolené přenosové cestě k přerušení přenosové cesty k adresátovi, tak si bloky zvolí jinou cestu.

## 4. *Vrstva síťového rozhraní*

Síťovým modelem TCP/IP není nikterak omezeno použití jakékoliv přenosové technologie, která bude použita na úrovni vrstvy síťového rozhraní. Je to jakýsi univerzální mezičlánek, právě mezi aplikační vrstvou a vrstvou síťového rozhraní. Tento protokol, je navržen tak, že je mu jedno, jestli se budou dat přenášet po relativně spolehlivých cestách, kde dochází k častým chybám při přenosu, nebo po zcela spolehlivých cestách, kde je chybovost přenosu žádná nebo velice minimální.[17]



Obr. 5.2 Vztahy RM OSI modelu a síťového modelu TCP/IP, vpravo protokoly síťové vrstvy [17]

### 5.3 Přenosová média

Ve standardech se vyskytuje mnoho fyzických médií, po kterých by bylo možno provozovat komunikaci, ale využívá se jen pár základních médií. Mezi ty nejznámější a nejpoužívanější patří:

- Koaxiální kabel – používal se především na počátku vývoje ethernetové komunikace a pak přestal stačit svou přenosovou rychlostí a maximální délkou přenosu. Používal se tlustý a tenký koaxiální kabel. Maximální vzdálenost přenosu dat se pohybuje ve stovkách metrů. (Tlustý – 500m, tenký – 185m)
- Kroucená dvojlinka – přenosových médií je několik typů a liší se především podle přenosové rychlosti a stíněním. Maximální přenosová vzdálenost se pohybuje okolo 100m což je dostatečující, protože se používá především pro síťování osobních počítačů, ve firmách ke komunikaci s automatickými stroji apod. Pro přenos dat na větší vzdálenost se může použít router nebo switch. Tyto prvky signál zesílí a pošlou dál.
  - Cat3 pro 10Mbit – kvalitou podobné telefoním kabelům
  - Cat5 pro 100Mbit
  - Cat5e pro 1Gbit
  - Cat6a pro 10Gbit
- Optická vlákna – jednovidová a mnohovidová. Maximální přenosová vzdálenost dosahuje i několik desítek kilometrů. Jednovidová mají maximální přenosovou vzdálenost větší jako mnohovidová. [18]

### 5.4 Vrstva PHY

Vrstva PHY je celá závislá na médiu a poskytuje služby související s odesíláním rámců přes konkrétní druh nosiče, jako je kódování bitové posloupnosti rámců do posloupnosti vhodné pro přenos daným médiem. Zajišťuje také přístup ke sdílenému médiu a detekci kolizí tam, kde k nim může docházet.

#### CSMA/CD

Jelikož v Ethernetové síti mohou být na jednom síťovém segmentu dvě a více zařízení současně, je potřeba přístup ke sdílenému médiu vhodným způsobem řídit tak, aby nedošlo ke kolizím (tj. současnému vysílání dvou prvků) a pokud by se tak stalo tak, aby tento fakt byl zjistitelný. Pro tento účel byla vyvinuta metoda CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection). Metoda řeší výše zmíněné problémy a navíc definuje, jak má zařízení postupovat pro znovuo-deslání dat po kolizi. [13]

#### Algoritmus CSMA/CD

- zařízení, které chce vysílat, poslouchá, zda je linka volná
- pokud je volná, začne vysílat rámeček

- odesílatel poslouchá, zda nedošlo ke kolizi
- pokud zjistí, že došlo ke kolizi, pošle jam signál
- po ukončení jamy si stanice, které vysílaly, nastaví náhodný čas, po který čekají
- po uplynutí času se začne od začátku

## 5.5 Vrstva MAC

Vrstva MAC je nezávislá na médiu i na rychlosti přenosu. Je čistě softwarová (stejně jako všechny vyšší vrstvy). Vytváří Ethernetové rámce, adresuje síťový segment, ověřuje kontrolní součet příchozích rámců a řídí proud („flow control“). S fyzickou vrstvou komunikuje pomocí rozhraní MII („Media Independent Interface“ – rozhraní nezávislé na médiu). Struktura Ethernetového rámce je na obrázku 5.4.

MAC vrstva adresuje i konkrétní fyzické rozhraní (port). Jako adresa se používá 6 oktetů, z nichž první 3 identifikují výrobce a další 3 identifikují zařízení. Čísla pro výrobce přiděluje organizace IEEE. Další rozdělení adres si už výrobce určuje sám. Pomocí MAC adres lze provádět vysílání typu broadcast, unicast, multicast.

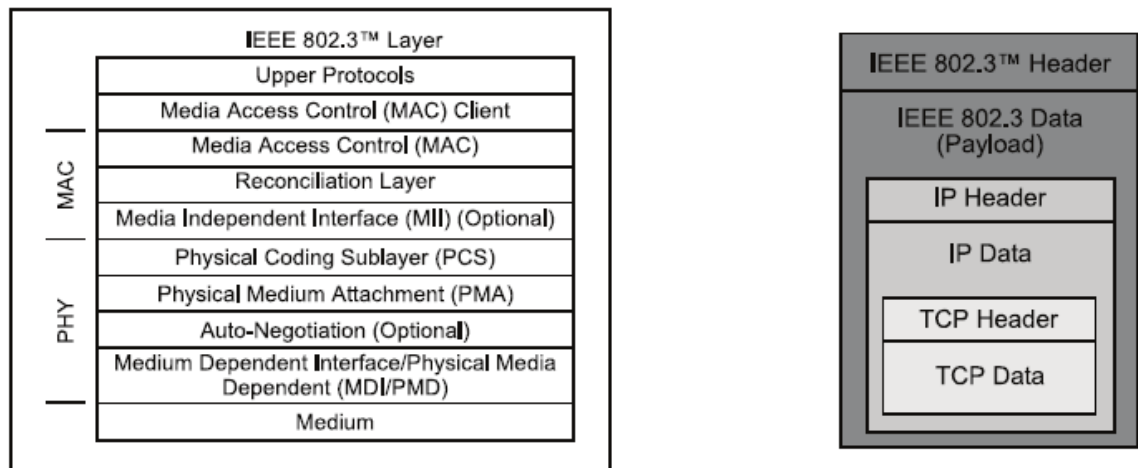
Broadcast je jeden ze způsobů vysílání v TCP/IP síti. Je to vysílání jednoho všem, tedy vysílaný paket je zachycen všemi zařízeními v síti. Toto vysílání se používá převážně v LAN sítích. Broadcasty jsou dnes používány pro řadu účelů (třeba DHCP, ARP) a využívá je velké množství aplikací. Tvoří velkou část provozu v LAN síti a zatěžují aktivní síťové prvky i stanice, proto je snaha o jejich minimalizaci.

Unicast je vysílání, kdy je paket zasílán jednomu cíli. Jedná se o běžnou komunikaci, kdy spolu komunikují dvě stanice. Při této komunikaci se jedna informace doručuje skupině cílů.

Multicast využívá efektivní metodu doručování, aby pakety v síti putovaly pouze jednou. Principem je, že se vytvoří multicastová adresa z rozsahu 224.0.0.0/4 (pro LAN je určeno 224.0.0.0/24), a klienti se k této adrese zaregistrují. Pro vytváření skupina a registrování se používá protokol Internet Group Management Protocol (IGMP) [12]

## 5.6 Standard IEEE 802.3

Standard definuje dvě vrstvy, z nichž každá je do značné míry autonomní a s druhou vrstvou komunikuje pouze skrz omezenou množinu zpráv. Tímto se značně podobá přístupu ISO/OSI modelu. Vrstvy se označují MAC (Media Access Control) a PHY (fyzická vrstva). Spodní dvě vrstvy zmíněného modelu se dají téměř ztotožnit s vrstvami Ethernetu. Obě vrstvy se skládají z dalších podvrstev, z nichž některé jsou nepovinné. Toto ilustruje Obr. 5.3. Zároveň ukazuje, jakým způsobem jsou zapouzdřována data do kontejnerů příslušných vrstev. [19]



Obr. 5.3 Struktura vrstev standardu 802.3 a zapouzdření dat [19]

Formát rámce se popisuje pomocí oktetů, což je osmice bitů. Důvodem je přesnost definice, protože některé počítače mohou pracovat s jinou základní délkou bajtu (např. 4 nebo 10 bitů), což by v počítačových sítích způsobovalo nekompatibilitu.

Preamble	SFD	MAC cíle	MAC zdroje	Typ/délka	Data a výplň	CRC32	Mezera mezi rámci
7× oktet 10101010	1× oktet 10101011	6 oktetů	6 oktetů	2 oktety	46-1500 oktetů	4 oktety	12 oktetů
64-1518 oktetů							
72-1526 oktetů							

Obr. 5.4 Ethernetový rámec[18]

Popis polí:

- Preamble – 7 oktetů, střídavě binární 0 a 1; slouží k synchronizaci hodin příjemce
- SFD – označení začátku rámce (Start of Frame delimiter), oktet 10101011
- MAC cíle – MAC adresa cílového síťového rozhraní o délce 48 bitů; adresa může být individuální (*unicast*), skupinová (*multicast*) a všeobecná (*broadcast*)
- MAC zdroje – MAC adresa zdrojového síťového rozhraní
- Typ/délka
  - pro Ethernet II je to pole určující *typ vyššího protokolu*
  - pro IEEE 802.3 udává délku pole dat
- Data – pole dlouhé minimálně 46 a maximálně 1500 oktetů (46—1500 B); minimální délka je nutná pro správnou detekci kolizí v rámci segmentu
- Výplň – vyplní zbytek datové části rámce, pokud je přepřavovaných dat méně než 46 B
- CRC32 – kontrolní součet (Frame Check Sequence, FCS) 32bitový kontrolní kód, který se počítá ze všech polí s výjimkou preamble a FCS; slouží ke kontrole správnosti dat – příjemce si jej vypočítá z obdrženého rámce a pokud výsledek nesouhlasí s hodnotou pole, rámec zahodí jako vadný.[18]

## 5.7 Komunikační protokol TCP/IP

Sada protokolů TCP/IP (v současnosti se jedná zhruba o několik desítek protokolů a další vznikají) má dvě skupiny:

### IP (Internet Protocol)

Je protokol síťové vrstvy a u každého paketu ověřuje jeho korektnost a obhospodaruje adresování, a to tak, aby pakety mohly být směrovány nejen přes řadu uzlů, ale dokonce i přes řadu sítí pracujících s různými komunikačními protokoly - nejen s původním ARPANETovským NCP standardem, ale i s jinými protokoly, jako jsou např. Ethernet, FDDI nebo X.25. Dále zajišťuje, aby byly pakety posílány ve správném pořadí a co možná nejvhodněji, co se týče cesty přenosu.

### TCP (Transmission Control Protocol)

Je protokol transportní vrstvy. Hlavním účelem protokolu TCP je získávat elektronické zprávy libovolné délky a převádět je do sekvence paketů, zpravidla o velikosti 64kb (poslední může být samozřejmě menší), na zdrojovém uzlu a pak je znovu sestavuje do původních zpráv na cílovém uzlu sítě.

Díky tomu může software řídící síťovou komunikaci zasílat zprávy po částech a kontrolovat každou z těchto částí samostatně. V případě, že se nepodaří daný paket přenést, tak se přenos opakuje. Efektivita přenosu je právě dána paketovým přenosem. Při chybě v přenosu se nemusí posílat celý „balík“ dat, ale jen chybný paket. [17]

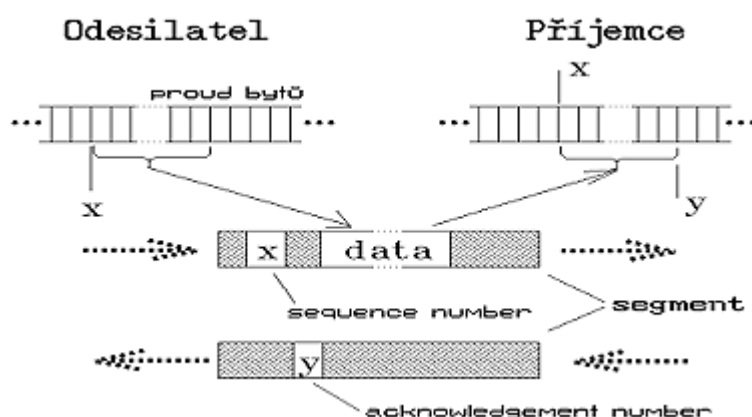
## 5.8 Problematika přenosu

Jak již bylo zmíněno, existují v podstatě dva protokoly na přenos dat v prostředí TCP/IP. Je to protokol TCP a UDP. Nehledě na to, že každý má jinou míru spolehlivosti, tak také má i jiný princip odesílání dat.

**TCP** – před každou výměnou dat mezi dvěma uzly musí být nejprve navázáno spojení a po přenosu zase zrušeno. TCP protokol posílá data po jednotlivých bytech, očekává tedy, že mu budou data předávána od jeho vyšší vrstvy v tzv. oketech. Ty pak kumuluje do vyrovnávacího bufferu, obvykle o 64 kb velikosti a posílá dále. Celý mechanismus sdružování jednotlivých bytů do bloků je plně v režii protokolu TCP, který se přenosem větších celků snaží optimalizovat využití přenosových cest. Pro vyšší vrstvu je tento mechanismus neviditelný - vyšší vrstva pracuje s představou proudu jednotlivých bytů. Pro některé aplikace však nemusí být přenos přes vyrovnávací buffer příliš vhodný. Proto zde existuje přímý odesílací mechanismus nazývaný *push*, kterým si lze odeslání dat vynutit, aniž by byl buffer plný.

**UDP** – tento protokol vyšle data, aniž by navazoval jakékoliv spojení s nějakým uzlem. Na rozdíl od TCP posílá data v celém bloku. Očekává tedy od své bezprostředně vyšší vrstvy vždy celý blok dat, který se snaží přenést opět jako celek (v rámci jediného tzv. uživatelského datagramu), a na straně příjemce jej předává své bezprostředně vyšší vrstvě opět jako celek.

Při přenosu používá protokol TCP tzv. **kladné potvrzování (positive acknowledgement)**, což znamená, že se potvrzují jen úspěšně přijatá data a naopak na „nepřijatá, chybná“ data vůbec nereaguje. Chybně vyslaná data se posílají opětovně po určité době (po vypršení časového limitu – **time out**). V praxi se přenos provádí tak, že se vyšle několik bloků dat ještě dříve, než je přijata informace o tom, že byla data úspěšně přijata tzv. **kontinuálního potvrzování (continuous acknowledgement)**. O tom kolik bloků může být vysláno dopředu rozhoduje velikost pomyslného okénka viz Obr. 5.5. [17]



Obr. 5.5 Odesílání a přijímání dat UDP protokolu. [17]

## 5.9 Bezpečnost protokolu TCP/IP

Problematika bezpečnosti se při vývoji vůbec neuvažovala, nebyl součástí zadání, při řešení přenosového protokolu TCP/IP. Protokol byl navrhován tak, aby byl co možná nejvíce efektivní a flexibilní. Proto přenosové cesty založené na tomto protokolu nejsou vůbec zabezpečeny. Bezpečnost se týká v podstatě dvou věcí:

1. data nejsou zabezpečena z hlediska přenosu do úrovně síťové vrstvy a to včetně (mohou se „ztrácet“)
2. data nejsou zabezpečena proti „odposlechu“ na přenášené lince (data nejsou šifrována)

Řešení: o opakování přenosu se musí postarat transportní vrstva protokolu TCP, data zabezpečit pomocí samotné aplikace, která sama provádí potřebné šifrování

Další bezpečnostní „dírou“ v protokolu TCP/IP je jeho „naivita“ na aplikační úrovni. Není rozhodně velkým problémem poslat třeba někomu e-mail pod jiným nebo smyšleným jménem. Při ověřování něčí identity jsou často hesla přenášena v nezakódované podobě atd. To rozhodně již



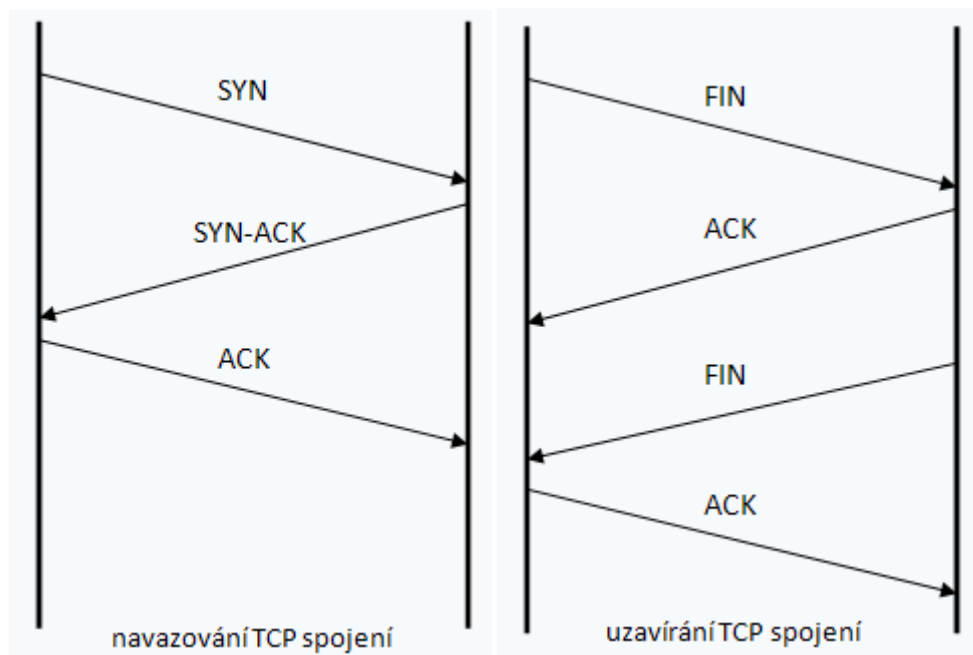
neodpovídá dnešním požadavkům na bezpečný přenos dat např.: při placení přes Internet nebo při manipulaci s osobními daty apod.. [17]

## 5.10 Navázání a ukončení spojení v TCP

Aby se mohla vysílat data pomocí TCP protokolu, je nejprve třeba vytvořit spojení. Pro navázání spojení se používá **třicestný handshake** (potřesení ruky). V průběhu navazování spojení se obě strany dohodnou na čísla sekvence (sequence number). Číslo sekvence a odpovědi (sequence, acknowledgement number) jsou 32bitové hodnoty uváděné v TCP hlavičce. Pro navázání spojení se posílá TCP segment, který má nastaveny příznaky (flags) v TCP hlavičce. Jedná se o 8 bitových hodnot CWR (Congestion Window Reduced), ECE (ECN-Echo), URG (Urgent), ACK (Acknowledgement), PSH (Push), RST (Reset), SYN (Synchronize), FIN. [14]

Navázání spojení probíhá ve třech krocích:

1. klient pošle SYN packet s uvedeným číslem sekvence (x), číslo odpovědi 0
2. druhá strana si uloží číslo sekvence (x) a odpoví SYN-ACK, jako číslo sekvence nastaví svoje číslo (y) a do čísla odpovědi vloží (x+1) - další očekávanou hodnotu
3. klient odpoví ACK, číslo sekvence (x+1), číslo odpovědi (y+1)



Obr. 5.6 Navazování a uzavírání TCP spojení. [14]

Principy při ukončení spojení jsou podobné jako při jeho navazování. Nejčastěji se používá **čtyřcestný handshake**, kdy každá strana samostatně uzavře spojení. Zde se používá sekvence FIN s odpovědí ACK. [14]

## 5.11 Aplikační protokoly TCP/IP

Aplikačních protokolů TCP/IP je velké množství a s vývojem IT přibývají. Bylo by si tedy chybné myslet, že TCP/IP jsou protokoly pouze dva, a proto není chybou, když se o tomto protokolu mluví ne v jednotném čísle, ale v čísle množném. V anglické terminologii se o těchto protokolech hovoří jako o „TCP/IP protocol suit“, tedy jako o rodině protokolů TCP/IP.

### *Příklad některých aplikačních protokolů TCP/IP*

#### 1. HTTP (HyperText Transfer Protocol)

Protokol pro komunikaci mezi WWW servery a jejich klienty (browsersy). Umožňuje browseru vyžádat si na serveru konkrétní WWW stránku, kterou mu server následně zašle. Protokol HTTP je koncipován jako bezstavový, což znamená, že každý požadavek je samostatný a nemá žádnou návaznost na žádný z případných předchozích požadavků - jinými slovy: WWW server si nemusí nic pamatovat o předchozí komunikaci s kterýmkoli klientem, a každý požadavek vyřizuje jako kdyby byl první (jediný).

#### 2. FTP (File Transfer Protocol)

Protokol pro přenos souborů mezi uzlovými počítači sítě. Předpokládá existenci FTP serverů, což jsou v zásadě běžné uzlové počítače s možností přístupu do jejich systému souborů na dálku - uživatel jiného uzlového počítače v roli FTP klienta pak může z FTP serveru "stahovat" soubory směrem k sobě (provádět tzv. "download"), nebo naopak soubory umisťovat na FTP server (provádět tzv. "upload"), podle konkrétních přístupových oprávnění, která mohou být v rámci FTP nastavována pro jednotlivé konkrétní uživatele.

#### 3. NFS (Network File System)

Protokol NFS slouží potřebám plně transparentního sdílení souborů v sítích na bázi TCP/IP, a to zejména v sítích lokálních. Rozdíl mezi sdílením a přenosem souborů (který zajišťuje protokol FTP, eventuálně TFTP) je v tom, zda si klient uvědomuje rozdíl mezi "místními" a "vzdálenými" soubory či nikoli. V případě přenosu souborů je pro klienta zásadní rozdíl mezi "místními" soubory, které se nachází na jeho počítači, a soubory vzdálenými, které se nachází na jiném počítači (FTP serveru) - s těmito vzdálenými soubory musí manipulovat jinak, než s místními soubory (musí vědět, kde se nachází, a pak si je může přenést k sobě prostřednictvím protokolu FTP). Naproti tomu v případě sdílení souborů protokol NFS zajišťuje to, aby se i vzdálené soubory klientovi jevily jako soubory místní - aby klient nemusel vědět, kde přesně se nachází.

#### 4. Telnet

Protokol Telnet slouží pro tzv. vzdálené přihlašování, neboli k tomu, aby se uživatel jednoho počítače dostal do stejného postavení, jaké má uživatel jiného (vzdáleného) počítače - a mohl si zde například spouštět různé aplikace a pracovat s nimi, a využívat tak výpočetní kapacitu vzdáleného počítače, či jeho další zdroje (aplikace, soubory, periférie apod.). Protokol Telnet je koncipován tak, aby umožňoval "spolupráci" různých platforem - nepožaduje nic specifického na platformě

počítače, ze které se uživatel přihlašuje ke vzdálenému počítači (nepožaduje například, aby to byly počítače se stejným operačním systémem).

## 5. NTP (Network Time Protocol)

Protokol, sloužící potřebám synchronizace časových základů uzlových počítačů sítě. Lze si jej představit jako prostředek pro oznamování aktuálního času, na jehož základě si jednotlivé uzly "seřizují" svoje individuální hodinky. [17]

## 5.12 DHCP

### Princip činnosti

Klienti žádají server o IP adresu, ten u každého klienta eviduje půjčenou IP adresu a čas, do kdy ji klient smí používat (doba zapůjčení, anglicky lease time). Poté co vyprší, smí server adresu přidělovat jiným klientům.

Klient komunikuje na UDP portu 68, server naslouchá na UDP portu 67. Po připojení do sítě klient vyšle broadcastem DHCPDISCOVER paket. Na ten odpoví DHCP server paketem DHCPOFFER s nabídkou IP adresy. Klient si z několika nabídek vybere jednu IP adresu a o tu požádá paketem DHCPREQUEST. Server mu ji vzápětí potvrdí odpovědí DHCPACK. Jakmile klient obdrží DHCPACK, může už IP adresu a zbylá nastavení používat. Klient musí před uplynutím doby zapůjčení z DHCPACK obnovit svou IP adresu. Pokud lhůta uplyne aniž by dostal nové potvrzení, klient musí IP adresu přestat používat.

V IPv6 sítích je automatickému nastavení stanice věnována vyšší pozornost, aby byla konfigurace počítačové sítě ještě jednodušší.[15]

## 6. Výběr čipů

V této kapitole se zabývám výběrem měřicího obvodu a mikroprocesoru. Jsou zde uvedeny vlastnosti ADE7878 a je zde uveden postup kalibrace.

### 6.1 Výběr integrovaného obvodu pro měření spotřeby

Při výběru integrovaného obvodu pro měření spotřeby elektrické energie jsem se rozhodl z výběru čtyř integrovaných obvodů (Teridian 71M6534, ADE7878, MSP430, MCP3909). Spotřeba v 3-fázové síti se může měřit taky IO (MCP3909), který měří jen výkon v jedné fázi, a to tak, že se MCP3909 použijí tři. Pro každou fázi jeden. Jeho výstupy se připojí k mikrokontroléru a ten pak spočítá celkovou spotřebu. Jeho výhodou je, že tři MCP3909 vyjdou o hodně levněji než jeden IO, který měří spotřebu přímo. Jeho nevýhodou je, že program na výpočet spotřeby si musíme napsat sami. Blokové schéma tohoto měření je v příloze číslo 1.

Teridian 71M6534 jsem nevybral, protože má v sobě pro mou práci a její účel zbytečnou paměť a jiné zbytečné funkce, které by nebyly využity. Dále jsem se zaměřil na přesnost měření spotřeby a nejlépe to zvládne změřit ADE7878. Nejdůležitějším kritériem ale bylo to, jestli se k čipu může koupit vývojový kit. K ADE7878 jako jedinému se mohl pořídit a proto jsem si ho zvolil.

### 6.2 Výběr MCU

Pro výběr MCU jsem využil vývojový kit pro ADE7878. Na něm je umístěn MCU LPC2368. Tento MCU nepodporuje komunikaci po ethernetu a proto sem vybral Stellaris LM3S8962, který komunikaci po ethernetu podporuje. Dále rozhodujícím faktorem bylo taky to, že se k MCU mohl zakoupit vývojový kit.

### 6.3 ADE7878

#### Základní popis

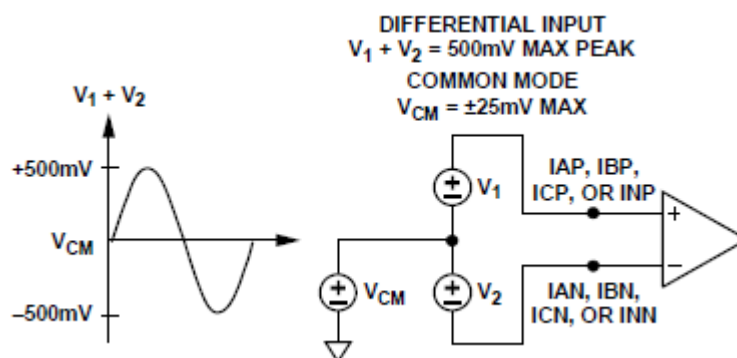
ADE7878 je vysoce přesný, 3-fázový měřič elektrické energie se sériovým rozhraním a třemi flexibilními pulzními výstupy. ADE7878 obsahuje sedm ADC převodníků, referenční obvody a všechny zpracované signály vyžadují celkové provedení (základní a harmonické), činného, jalového a zdánlivého měření energie, základní činné a jalové energie měření a efektivní výpočty. V příloze číslo 3 je znázorněno blokové schéma ADE7878.

Vlastnosti:

- Napájecí napětí:  $3.3\text{ V} \pm 10\%$
- Taktovací frekvence CLKIN = 16.384 MHz
- Provozní teplotní rozsah:  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$ .
- Chyba měření: méně než 0.1% chyby v poměru 1000:1
- Rozhraní proudového senzoru: Proudový transformátor, Rogowskiho cívka
- Rozměry jsou 6 x 5,75 x 1

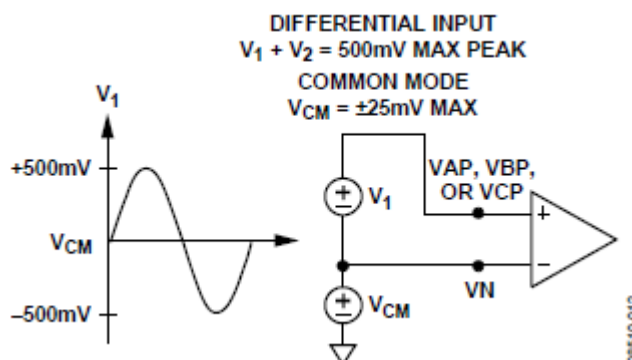
## Analogové vstupy

ADE7878 má 7 analogových vstupů (proudových a napěťových kanálů). Proudové kanály se skládají ze 4 párů plně diferenčních napěťových vstupů: IAP a IAN, IBP a IBN, ICP a ICN, a INP a INN. Tyto napěťové vstupní páry mají maximální diferenční signál  $\pm 0.5\text{ V}$ . V součtu je maximální úroveň signálu na analogových vstupech pro pár  $I_{xP}/I_{xN}$  rovna  $\pm 0.5\text{ V}$  s ohledem na AGND. Maximální souhlasný signál dovoluje na vstupech  $\pm 25\text{ mV}$ . Všechny vstupy mají programovatelné zesílení (PGA) s možností výběru zesílení z 1, 2, 4, 8, nebo 16.



Obr. 6.1 Schéma vstupů pro proudové kanály a jejich vztahy k maximální souhlasné hodnotě napětí[20]

Napěťový kanál má tři jednostranné napěťové vstupy: VAP, VBP a VCP. Tyto jednostranné napěťové vstupy mají maximální vstupní napětí  $\pm 0,5\text{ V}$  s ohledem k VN. Kromě toho, maximální úroveň signálu na analogových vstupech pro  $V_{xP}$  a VN je  $\pm 0,5\text{ V}$ , s ohledem na AGND. Maximální souhlasný signál dovoluje na vstupech je  $\pm 25\text{ mV}$ . Všechny vstupy mají programovatelné zesílení s možností výběru zesílení z 1, 2, 4, 8, nebo 16. [20]



Obr. 6.2 Schéma napětí vstupních kanálů a jejich vztah k maximální souhlasné hodnotě napětí.[20]

## Nastavení registrů ADE7878

Registr RUN se musí nastavit do hodnoty 1, aby ADE7878 vůbec začalo měřit. Jelikož jsem si jako senzor proudu zvolil Rogowskiho cívku musí se nastavit registr CONFIG na hodnotu 1. Pro přesnější měření se musí nastavit registr PGA na hodnotu 3. Tím se nastaví proudové zesílení na hodnotu 8. Napěťové zesílení nemusíme nastavovat, protože ADE7878 ho měří dostatečně přesně i při zesílení 1. Pro měření celkové spotřeby se musí nastavit registr LCYCMODE na hodnotu 0.

Nakonec se musí nastavit průběh proudového zesílení registrů. V signálové části je násobitel pro každou fázi a nulák. Průběh proudu lze měnit od  $\pm 100\%$  tím, že se zapisuje odpovídající dvojkový doplněk do 24-bitového registru aktuálního průběhu zesílení (AIGAIN, BIGAIN, CIGAIN a NIGAIN). Například, když je 0x400000 zapsána do těchto registrů je výstup ADC rozdělen na 50%. Měřítka vstupu -50%, píše 0xC00000 do registrů. Rovnice 6.1 popisuje matematicky funkci průběhu proudového zesílení registrů.

$$\text{Current Waveform} = \text{ADCOutput} \times \left( 1 + \frac{\text{Content of Current Gain Register}}{2^{23}} \right) \quad (6.1)[20]$$

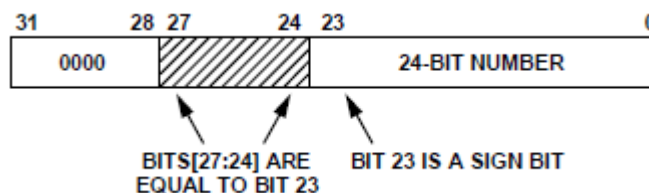
kde:

Current Waveform – skutečná hodnota proudu

ADCOutput – hodnota z programu bez jakéhokoliv nastavení

Content of Current Gain Register – požadovaná hodnota pro nastavení xIGAIN pro měření skutečné hodnoty proudu

Změna obsahu registrů AIGAIN, BIGAIN, CIGAIN nebo INGAIN ovlivňuje všechny výpočty na základě proudu, to znamená, že má vliv na výpočet příslušné fáze aktivní / reaktivní / zdánlivé energie a efektivní hodnoty proudu. 24-bitové registry AIGAIN, BIGAIN, CIGAIN a NIGAIN jsou přístupné jako 32-bitové registry.[20]



Obr. 6.3 24-bitový xIGAIN odeslaný jako 32-bitové slovo[20]

Podle rovnice 6.1 se spočítají hodnoty AIGAIN, BIGAIN, CIGAIN. Hodnoty jsou spočítány v hexadecimální soustavě. Do AIGAIN se zapíše hodnota FD84000, BIGAIN = FCF4000, CIGAIN = FCC4000. Hodnoty jsou závislé na proudovém zesílení PGA jak je uvedené výše. Kdyby se změnilo, změnily by se i hodnoty xIGAIN. Dále jsou závislé na vlastnostech Rogowskiho cívek, kde při jiných rozměrech cívek se hodnoty xIGAIN liší. Proto se musí počítat pro každou fázi zvlášť.

ADE7878 má 4 režimy PSM0 – normální, PSM1-2- speciální, PSM3 – sleep mód. Nastavení normálního módu řeším hardwarově a to tak, že PM0 přivedu na napětí a tím nastavím logickou 1 a PM1 přivedu na digitální zem a tím přivedu logickou 0. Port SSB/HSA se rovněž musí připojit na napětí a tím přivedu logickou 1.

## 6.4 LM3S8962

### Vlastnosti

- provoz 50MHz
- 36 přerušení v 8 prioritních úrovních
- JTAG - 64 KB jeden cyklus SRAM,
- GPIOs – 5 až 42 v závislosti na konfiguraci
- UART
- Synchronní sériové rozhraní (SSI) - Master nebo slave
- I2C
  - Zařízení na sběrnici I2C lze označit buď jako master nebo slave
  - Čtyři režimy I2C
  - Dvě přenosové rychlosti: Standard (100 kb) a Fast (400 kb)
- Controller Area Network (CAN) - Přenosová rychlost až 1 Mbps
- 10/100 Ethernet Controller - Odpovídá specifikaci IEEE 802.3-2002
- PWM
- Napájení – 3,3V [21]
  - napájecí proud: 240 mA typicky (plně aktivní, CPU na 50 MHz)
  - výstupní výkon: 3,3 Vdc (60 mA max.), 15 V DC (15 mA)
- rozměry: 4.55 "x 2.45" x 0.7 "(D x Š x H)

## 7. Realizace HW

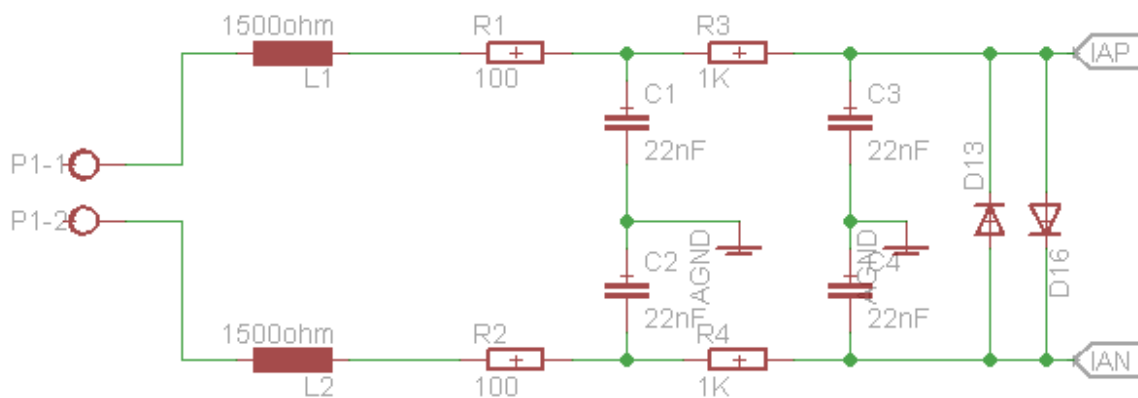
### 7.1 Blokové schéma

Blokové schéma se nachází v příloze číslo 2. Máme 3-fázovou síť a k ní je připojen přes spínací kontakty dobíjecí stojan. Spínací kontakty řídí relé připojené k MCU, kde program povoluje jeho sepnutí. Sepnutí je podmíněno signálem z RFID čtečky. Pokud má zákazník platnou RFID kartu, nabíjecí stojan mu povolí nabíjení sepnutím relé.

Na fáze jsou připojeny senzory proudu a napětí. Jako senzor proudu je použita Rogowskiho cívka a jako senzor napětí je použit dělič napětí. Za senzory je použit antialiasing filtr, který je tam z důvodu potlačení frekvencí jiných než bere A/D převodník. Za antialiasing filtrem je připojen ADE7878, který je napájen zdrojem 3,3V. Za ADE7878 je obvod galvanicky oddělen optočlenem a za ním je vyvedena pin lišta pro připojení vývojového kitu Stellaris LM3S8962. Na něm je připojen konektor RJ-45, který celý obvod galvanicky odděluje a slouží k přenosu dat na server.

### 7.2 Schéma zapojení

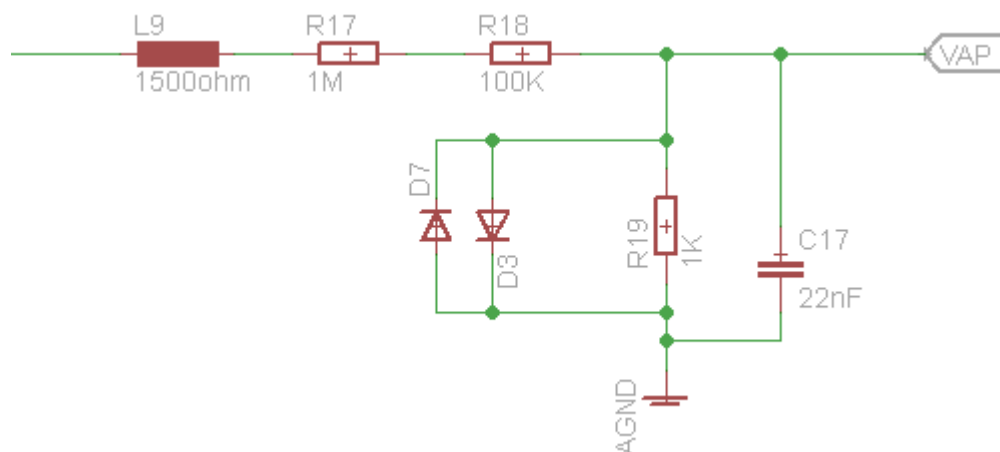
Na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** je návrh antialiasing filtru pro proudový vstup se dvěma diodami, které chrání ADE7878 před přepětím. V celkovém zapojení jsou tyto filtry čtyři (pro každou fázi jeden).



Obr. 7.1 Antialiasing filtr pro proudový vstup

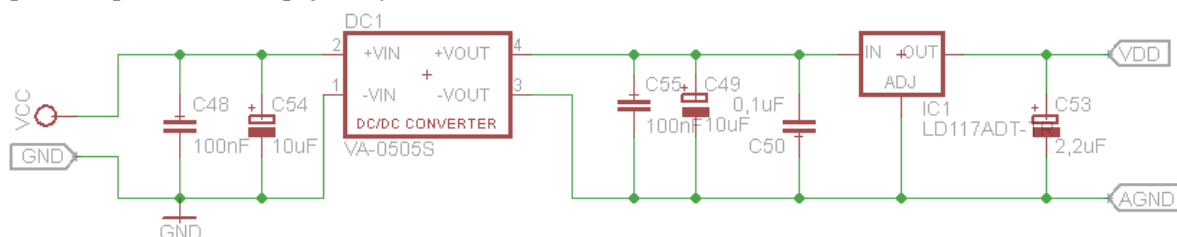
Na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** je zobrazen dělič napětí. Celé napětí sítě je na dvou rezistorech. Dva rezistory jsou použity proto, že je použita SMD technologie a tím se celé napětí rozdělí mezi ně. Dále jsou použity ochranné diody, které chrání ADE7878 před přepětím.





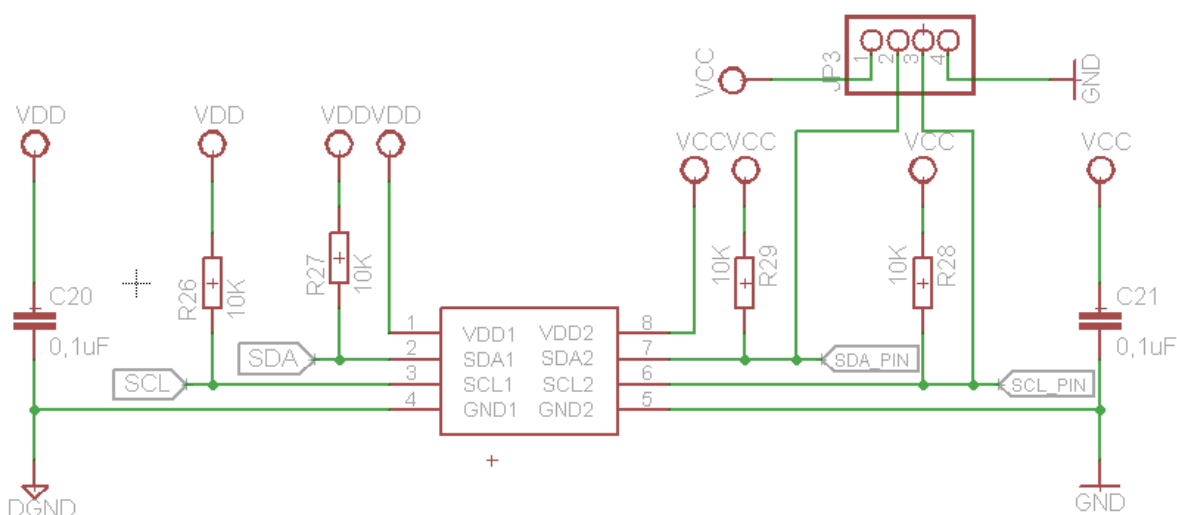
**Obr. 7.2 Dělič napětí ochranou ADE7878 (diody)**

Na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** je zobrazen návrh zdroje pro ADE7878. Na port VCC se připojí 5V zdroj. DC1 je galvanické oddělení a na jeho výstupních svorkách je napětí 5V. Potom je připojen stabilizátor napětí, na jehož výstupu je 3,3V. Filtrační kondenzátory jsou zapojeny podle doporučeného zapojení výrobce.



**Obr. 7.3 Zdroj pro ADE7878**

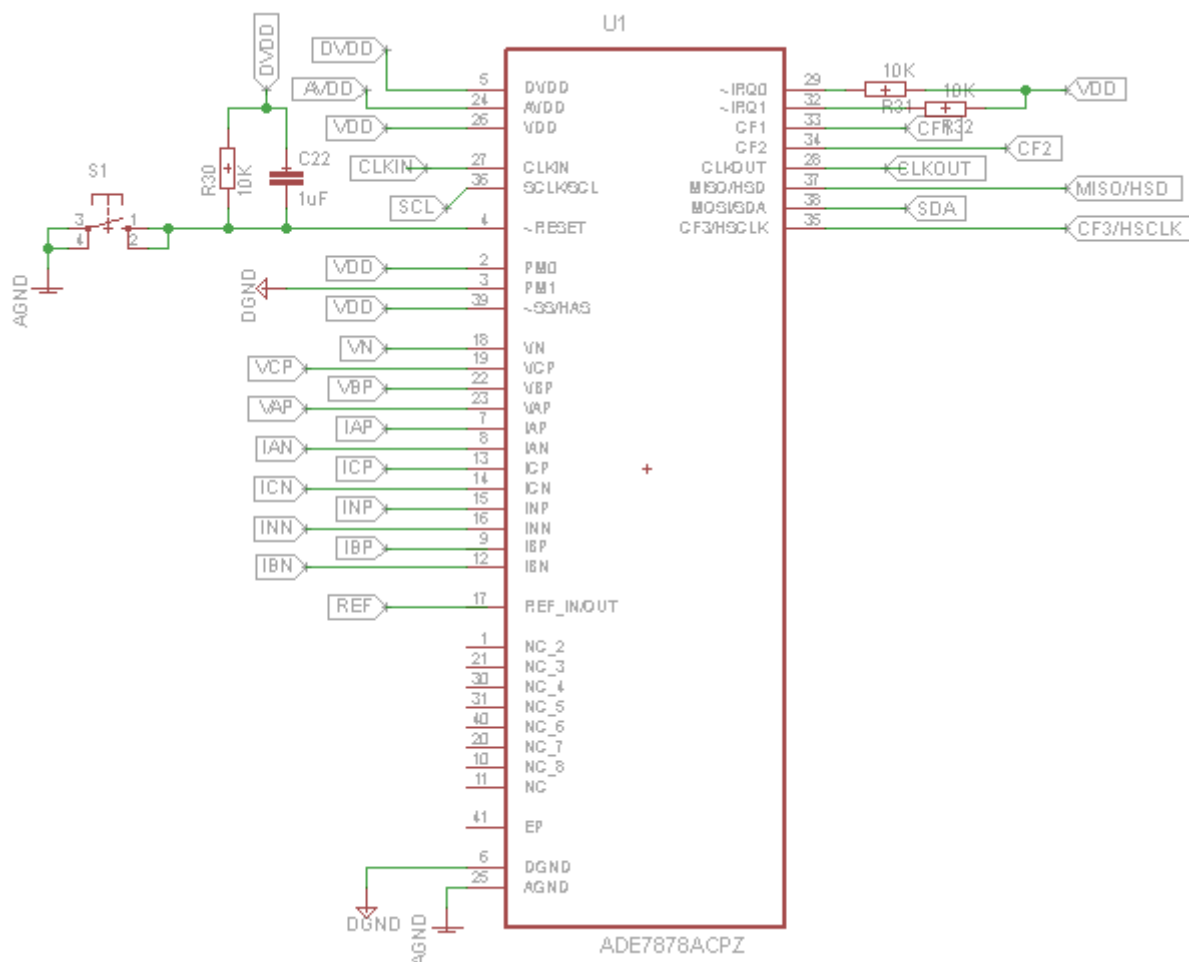
Na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** je zapojení galvanického oddělení měřicího čipu od MCU. Na JP3 jsou přivedeny datové cesty, které se propojí přes piny k MCU.



**Obr. 7.4 Galvanické oddělení, výstup dat po I2C**

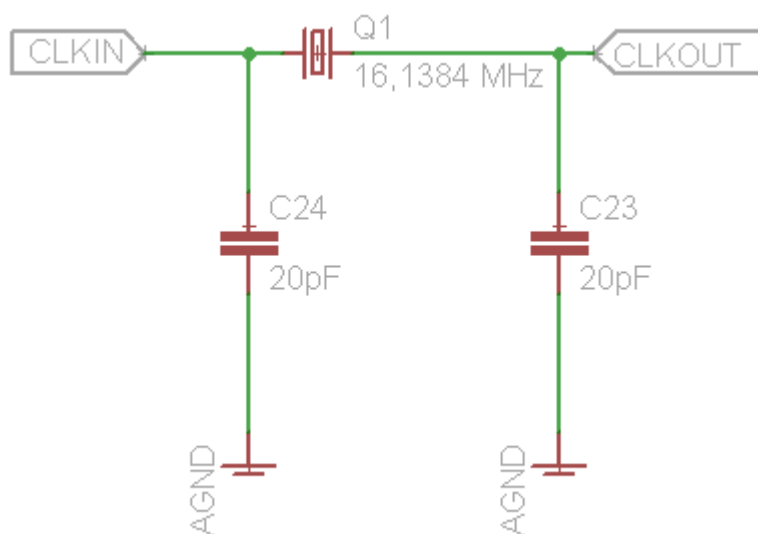
Na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** je zapojení ADE7878, ke kterému jsou připojeny proudové a napěťové vstupy. Dále je hardwarově nastavený normální režim, kde PM0 a SSB/HSA

jsou připojeny na napětí (logická 1) a PM1 je připojeno na digitální zem pro připojení logické 0. Dále je vidět připojení resetu, oscilátoru a výstupních dat.



Obr. 7.5 Zapojení ADE7878

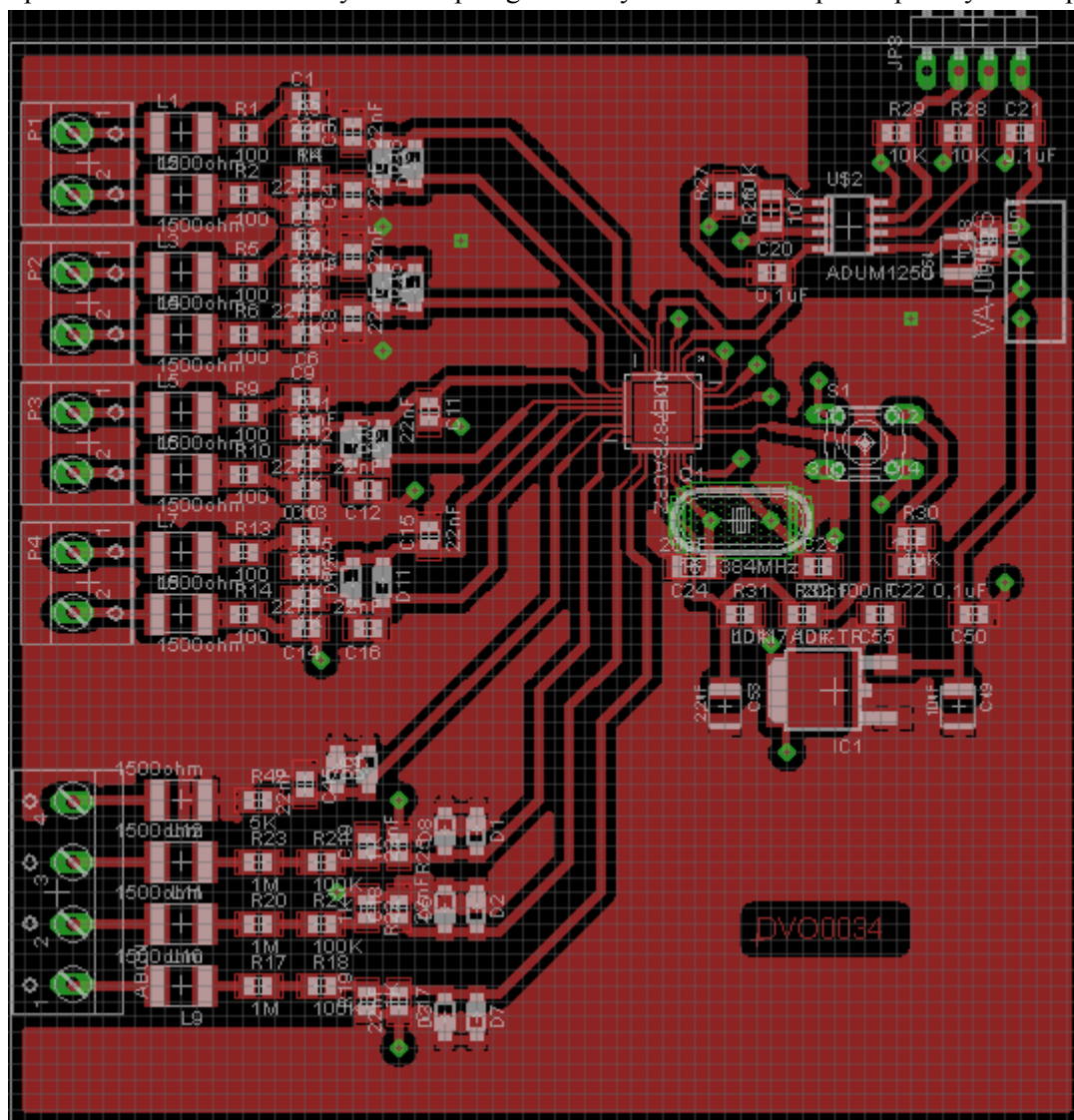
Na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** je schéma zapojení krystalu k ADE7878



Obr. 7.6 Oscilátor k ADE7878

### 7.3 Návrh desky plošných spojů

Na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** jsou na pravé straně poskládány napěťové a proudové vstupy. Širší mezera mezi napěťovými a proudovými vstupy je z důvodu bezpečnosti, protože na rezistorech za napěťovými vstupy je celé napětí sítě. Uprostřed je ADE7878 pod kterým je základní zapojení ADE7878 a jeho zdroj. Vpravo nahoře je galvanické oddělení. Z bezpečnostních důvodů není vylitá zem pod galvanickým oddělením a pod napěťovými vstupy.



Obr. 7.7 Deska plošných spojů elektroměru, vrstva Top

### 7.4 Realizace zařízení a jeho oživení

Nejprve se musí sestrojít senzory proudu tj. Rogowskiho cívky. Při realizaci Rogowskiho cívek jsem využil 3D tiskárnu, kde jsem si vytisknul jádro cívky, na které jsem posléze namotal měděný drát. Rozměry cívky jsem zvolil podle zdroje [7], počet závitů jsem si upravil na 300 a průměr drátu jsem zvolil 0,2mm z důvodu, že předchozí verze, které jsem zkoušel, indukovaly napětí 1 až 2 mV při 4A.

Pro realizaci prototypu se musí nejprve vytisknout PostScript pro obě vrstvy desky, protože DPS je oboustranná, kde vrstva Bottom je v příloze číslo 5 a vrstva Top je na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** . V eagle se musí otevřít CAM Processor. Ve výstupním zařízení se musí zvolit PS\_INVERTED, vybrat složku do které se má PostScript uložit a zaškrtnout vrstvy, které se mají vytisknout tj. Pads, Vias, Dimension a vrstvu Bottom. Pro vytisknutí druhé strany se zvolí stejný postup s tím rozdílem, že se nezaškrtnou vrstva Bottom, ale vrstva Top, která se musí zrcadlit. Po vytisknutí se obě strany spojí k sobě izolepou tak, aby propojky a další spoje byly přesně přes sebe. Mezi ně se poté vloží DPS a osvítlí se z obou stran. Po osvětlení se z ní strhne ochranná folie a osvětlená DPS se vloží do uhličitanu sodného. Až budou cesty z obou stran vystouplé, tak se DPS vytáhne a omyje vodou a usuší. Potom se vloží do chloridu železitého a nechá se vyleptat, dokud nebude všechna měď z DPS pryč kromě cest, které potřebujeme. Vyleptaná deska se omyje vodou, osuší a provedou se na ní všechny mechanické úkony jako ořezání desky, vrtání, broušení. Nakonec se DPS vloží do hydroxidu sodného a smyje se z ní všechnen lak. Poté se omyje vodou, usuší a nastříká se Fluxem, který se nechá cca 10 minut schnout.

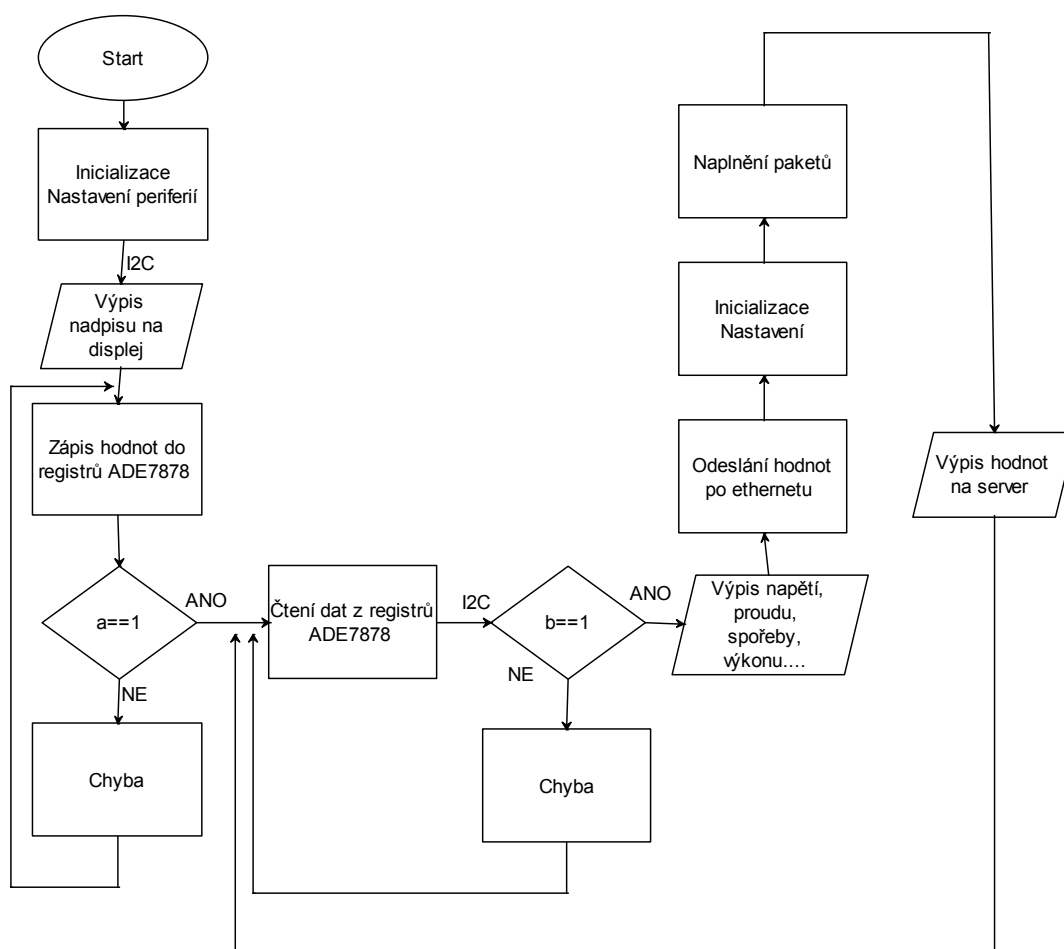
Jakmile bude flux zaschnutý, tak se podle **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** rozmístí součástky a zapájí. Po zapájení všech součástek se zkusí jejich mechanická pevnost (zkusit odtrhnout od DPS). Poté se vezme multimetr a zkusí se „propípat“ cesty, které mají být spojené. Pokud bude vše v pořádku, otestuje se napájecí část, kde za IC1 musí být 3,3V, pokud nebude, musí se zjistit chyba. Po opravení chyby se může přivést testovací napětí jak na napěťové vstupy tak proudové vstupy a napájení pro ADE7878. Deska se spojí s vývojovým kitem procesoru LM3S8962 a do něj se nahraje program. Pokud se na displeji a serveru zobrazí správné hodnoty napětí, nějaká hodnota proudu, výkonu a spotřeby, znamená to, že obvod je správně zapojen a může se zvýšit napětí u napěťových vstupů. Na proudové vstupy se připojí Rogowskiho cívky, kterými prochází vodič, ve kterém teče měřený proud. Po připojení se zkontrolují zobrazované hodnoty podle Ohmova zákona. Pokud vše odpovídá, znamená to, že výrobek je plně funkční.

## 8. Vývoj softwaru

V této kapitole je popsána implementace softwaru do mikroprocesoru a navrhnut vývojový diagram pro komunikaci. Celá aplikace byla vytvořena ve vývojovém prostředí CoCox ve verzi CoIDE.

### 8.1 Vývojový diagram

Na začátku programu se musí inicializovat a nastavit periferie. Potom se naprogramují funkce pro zápis do ADE7878 a čtení z ADE7878. Pokud se nezdaří zápis, bude se opakovat. Stejně tak při špatném přečtení se čtení bude opakovat. Pak se přečtená data zobrazí na displej a inicializují se ethernetové porty a periferie. Poté se přečtené registry naplní do paketů. Plnění paketů probíhá paralelně a to tak, že se do paketu zapisují zároveň MAC adresa, TCP/IP adresa a rámeček. Nakonec se všechny potřebné pakety odešlou a zobrazí na serveru. Po výpisu na server se opakuje nekonečná smyčka vypisování aktuálních dat na server.



Obr. 8.1 Zjednodušený vývojový diagram pro komunikaci

## 8.2 Zpracování dat z ADE7878

Jako první se musí povolit periferie pro posílání a přijímání dat ADE7878, nastavit hodiny, inicializovat LCD displej pro ověření komunikace.

Potom se vytvoří funkce pro zapisování a čtení dat ADE7878. Ve funkci posílání po I2C se jako první musí nastavit adresa ADE7878. Potom se nastaví adresa registru, která se musí rozdělit na dvě části po 8 bitech. Po poslání adresy registru se můžou poslat data a to tak, že se musí rozdělit na 4 části po dvou bitech.

Funkce pro čtení je velmi podobná funkci zápisu. První musí být adresa čipu, potom adresa registru rozdělená na dvě části rovněž po 8 bitech. Data se vyčítají znovu na 4 části. Každá přečtená část dat se uloží do proměnné a ty se pak složí do jedné.

V mainu se potom zavolá funkce pro zápis a nastaví se, jaké hodnoty jsou potřeba zapsat. Zavoláním funkce pro čtení se můžou ověřit zapsané hodnoty a vyčíst registry na displej, které v sobě uchovávají hodnoty proudu, napětí, výkonu, spotřeby a tak dále. Celá komunikace po I2C je v příloze číslo 8.

## 8.3 Poslání dat na server

Základem posílání dat na server je volně dostupná aplikace TCP/IP stack od výrobce mikroprocesoru (Texas Instruments). Dosazování dynamicky generovaných hodnot do stránek se provádí pomocí funkce callbacks. V HTML stránce, která je šablonou obsahující statické bloky jsou umístěny mezi dvojicí znaků ~ názvy dynamických proměnných. Při šabloně jako odpovědi na HTTP požadavek se v místě proměnné zavolá proměnná `http_Print_Název_proměnné`, která zajistí odeslání hodnoty proměnné na výstup.

Pevná MAC adresa se definuje přímo v programu a to podle níže uvedeného kódu.

```
// Program na zadání pevné MAC adresy (01-23-45-67-89-AB)
//
pucMACAddress[0] = 0x01;
pucMACAddress[1] = 0x23;
pucMACAddress[2] = 0x45;
pucMACAddress[3] = 0x67;
pucMACAddress[4] = 0x89;
pucMACAddress[5] = 0xAB;
EthernetMACAddrSet(ETH_BASE, pucMACAddress);
```

Statická IP adresa se definuje přímo a to podle níže uvedeného kódu.

```
#define USE_STATIC_IP
#define DEFAULT_IPADDR0 158
#define DEFAULT_IPADDR1 196
#define DEFAULT_IPADDR2 73
#define DEFAULT_IPADDR3 53
#define DEFAULT_NETMASK0 255
#define DEFAULT_NETMASK1 255
```

```
#define DEFAULT_NETMASK2    254
#define DEFAULT_NETMASK3    0
```

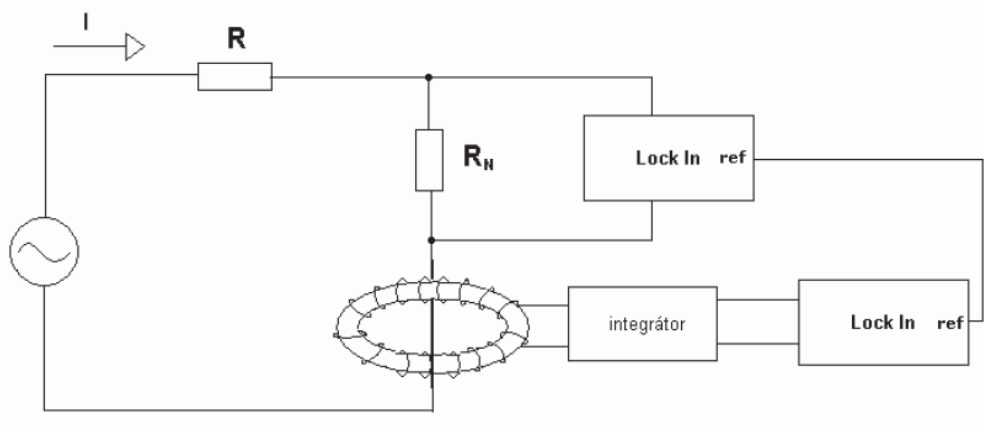
Odesílání dat na server se provádí pomocí komunikačního protokolu TCP/IP, kde TCP je protokol transportní vrstvy a IP je protokol síťové vrstvy. IP u každého paketu ověřuje jeho korektnost a obhospodařuje adresování, a to tak, aby pakety mohly být směrovány nejen přes řadu uzlů, ale dokonce i přes řadu sítí pracujících s různými komunikačními protokoly. Zajišťuje taky, aby byly pakety posílány ve správném pořadí. TCP převádí elektronické zprávy o libovolné délce do sekvence paketů na zdrojovém uzlu a pak je znovu sestavuje do podoby elektronické zprávy na cílovém uzlu sítě. Potřebné data se získávají z ADE7878 a to vypsáním patřičných registrů, ve kterých jsou potřebné hodnoty (proud, napětí, výkon, spotřeba...). Pro zjištění hodnoty dat z registrů ADE7878 je využita komunikace po I2C, která je pošle do MCU.

Na předávání dat používám strukturu XML. Přenášení dat binárně by bylo kratší, ale přenášení dat s XML formátováním bylo vytvořeno z důvodu navázání na jiné projekty. Pomocí XML značek (tagů) se vyznačuje v dokumentu význam jednotlivých částí textu. Dokumenty tak obsahují více informací, než kdyby se používalo značkování zaměřené na prezentaci (vzhled) – definice písma, odsazení a podobně. XML dokumenty jsou informačně bohatší. Zpráva začíná identifikací zařízení <DEV\_ID> a následuje časová značka, která odpovídá době měření <Time>. Následuje výpis hodnot jako proudu, napětí, výkonu, spotřeby a celkové hodnoty. Příklad tagu napětí, kde ostatní tagy jsou velmi podobné. Jsou použity pouze párové tagy k ohraničení dat, protože je zcela jasné kde tagy začínají a kde končí.

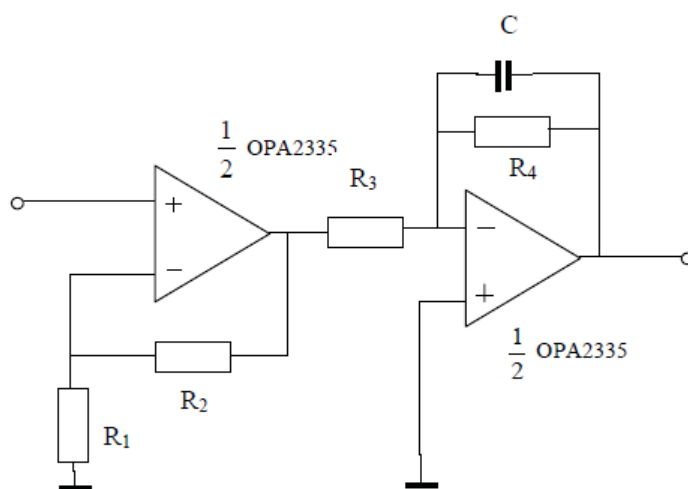
```
<Voltage>
  <A>13307</A>
  <B>13342</B>
  <C>13320</C>
  <Unit>mV</Unit>
</Voltage>
```

## 9. Měření a testování prototypu

Jako první bylo nutné otestovat mnou vyrobené Rogowskiho cívky. Bylo nutné navrhnout zapojení obvodu pro jejich měření. Toto zapojení je na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** převzaté z [7]. Integrátor jsem si postavil podle **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** převzatého z 44[7]. Takto navržené zapojení integrátoru má velmi malý ofset, jednoduché zapojení a nízkou cenu.



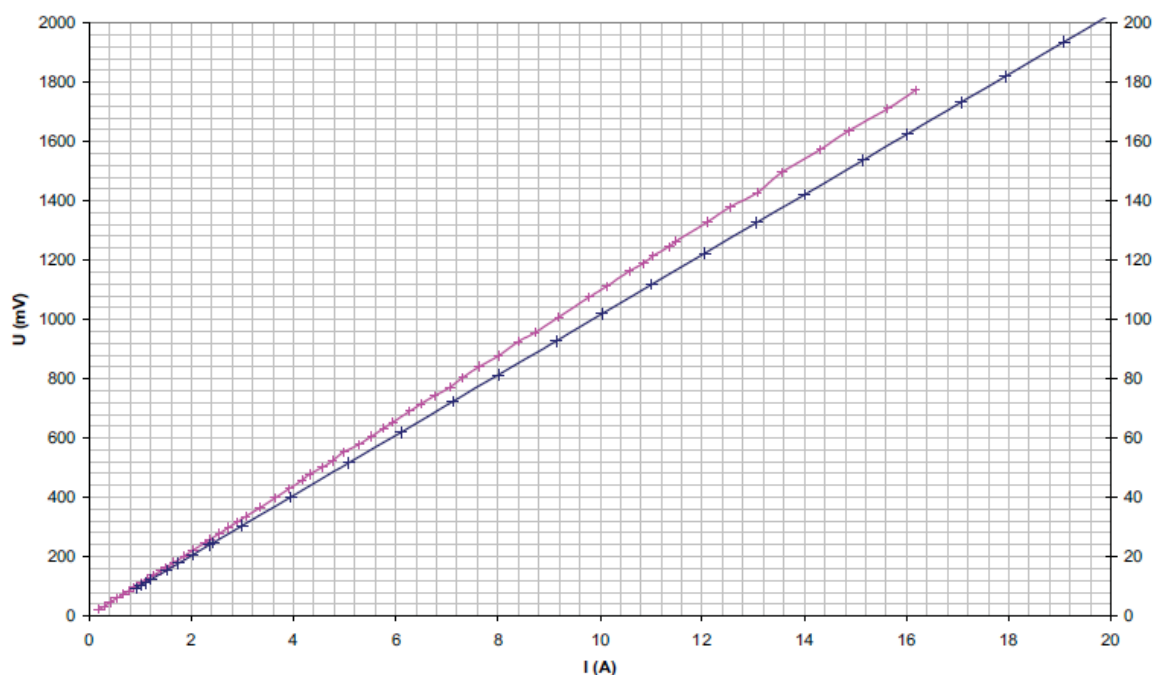
Obr. 9.1 Schéma zapojení pro měření proudů 0-20A



Obr. 9.2 Zapojení integrátoru,  $R_1=1,3\text{k}\Omega$ ;  $R_2=180\text{k}\Omega$ ;  $R_3=10\text{k}\Omega$ ;  $R_4=1\text{M}\Omega$ ;  $C=330\text{nF}$

Na grafu 3 jsou zobrazeny převodní charakteristiky cívek. Růžové hodnoty jsou převzaté z [7], aby bylo vidět porovnání, jak moc se liší hodnoty cívek s 2500 závitů a s 300 závitů. Modré hodnoty jsou pro cívku o 300 závitůch a růžové jsou pro cívku o 2500 závitůch.

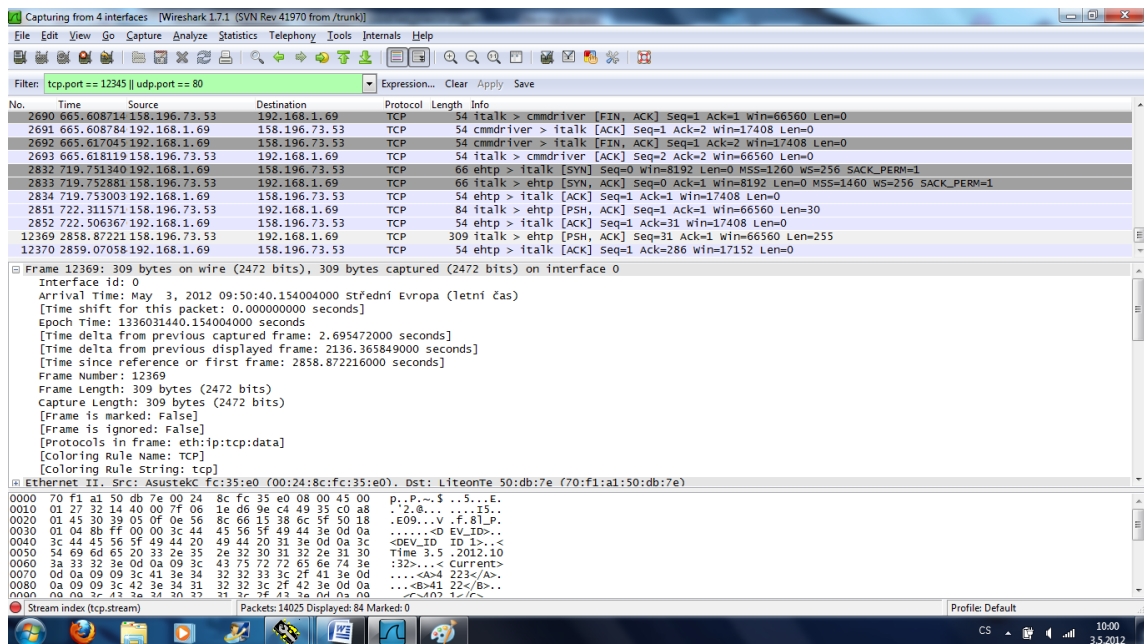




Graf 3: Převodní charakteristika

Následně jsem testoval prototyp DPS, kde nastal menší problém s oživením DPS. Zjistilo se, že ve schématu chybí 3 vodivé cesty a jedna, která se odleptala při výrobě DPS viz. příloha číslo 8. Vyřešil jsem to pomocí propojek. Jako první byla napájena napájecí část. Špatně jsem připojil galvanické oddělení a při zjišťování napětí na stabilizátoru, kde jsem potřeboval naměřit 3,3V jsem naměřil 0V. Po přepájení bylo vše v pořádku. Poté jsem napájel zbytek součástek, ale při testování nebylo na stabilizátoru žádné napětí. To bylo způsobené křivě napájeným ADE7878 kde se většina cest zkratovala. Problém zmizel přepájením ADE7878. Poté se na trafo připojila žárovka a na dráty se nasunuly Rogowskiho cívky. Napěťové svorky na prototypu se připojily na žárovku. Jeden drát na VA a druhý na VN. Zbylé svorky VB a VC se proklemovaly s VA, protože všechny napětí se měří oproti VN. Nakonec se připojil vývojový kit Stellaris LM3S8962 na komunikační piny. Poté se zapnuly zdroje a na displeji se zobrazovaly hodnoty proudu a spotřeby. Zobrazeny byly pouze tyto hodnoty, protože malý displej jich víc nemohl zobrazit kvůli své velikosti.

Nakonec se spustil WireShark a nastavila se IP adresa vývojového kitu Stellaris LM3S8962 pro zobrazení komunikace po TCP/IP. Na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** je zobrazen screenshot obrazovky, na které je zobrazena komunikace MCU a serveru pomocí programu WireShark. Pomocí programu WireShark můžeme vidět kompletně rozebranou celou komunikaci jak po TCP/IP tak i po jiných komunikačních protokolech. Rámci se přiřazuje ID rozhraní, čas přenosu, číslo a délka rámce. IP definuje délku hlavičky. Hlavička IP obsahuje IP adresu odesílatele a IP adresu příjemce. TCP obsahuje adresu port příjemce a odesílatele viz. **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Dále obsahuje délku hlavičky, sekvenční číslo a Acknowledgement číslo. Nakonec jsou připojeny data. Na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** je vidět přijatá struktura dat.



Obr. 9.3 WireShark – odeslání dat

- ☐ Header checksum: 0x1ed6 [correct]
  - [Good: True]
  - [Bad: False]
  - Source: 158.196.73.53 (158.196.73.53)
  - Destination: 192.168.1.69 (192.168.1.69)
  - [Source GeoIP: Unknown]
  - [Destination GeoIP: Unknown]
- ☐ Transmission Control Protocol, Src Port: italk (12345), Dst Port: ehpt (1295), Seq: 31, Ack: 1, Len: 255
  - Source port: italk (12345)
  - Destination port: ehpt (1295)
  - [Stream index: 13]
  - Sequence number: 31 (relative sequence number)
  - [Next sequence number: 286 (relative sequence number)]
  - Acknowledgment number: 1 (relative ack number)
  - Header length: 20 bytes
  - ☒ Flags: 0x018 (PSH, ACK)
    - window size value: 260
    - [Calculated window size: 66560]
    - [window size scaling factor: 256]
  - ☒ Checksum: 0x8bff [validation disabled]
    - [SEQ/ACK analysis]
    - [Bytes in flight: 255]
- ☐ Data (255 bytes)
  - Data: 3c4445565f49443e0d0a3c4445565f494420494420313e0d...
  - [Length: 255]

Obr. 9.4 Struktura TCP a odeslané data

0000	70	f1	a1	50	db	7e	00	24	8c	fc	35	e0	08	00	45	00	p..P.~.\$ ..5...E.
0010	01	27	32	14	40	00	7f	06	1e	d6	9e	c4	49	35	c0	a8	..'2.@... ....I5..
0020	01	45	30	39	05	0f	0e	56	8c	66	15	38	6c	5f	50	18	.E09...V .f.8l_P.
0030	01	04	8b	ff	00	00	3c	44	45	56	5f	49	44	3e	0d	0a	.....<D EV_ID>..
0040	3c	44	45	56	5f	49	44	20	49	44	20	31	3e	0d	0a	3c	<DEV_ID ID 1>..<
0050	54	69	6d	65	20	33	2e	35	2e	32	30	31	32	2e	31	30	Time 3.5 .2012.10
0060	3a	33	32	3e	0d	0a	09	3c	43	75	72	72	65	6e	74	3e	:32>...< Current>
0070	0d	0a	09	09	3c	41	3e	34	32	32	33	3c	2f	41	3e	0d	....<A>4 223</A>.
0080	0a	09	09	3c	42	3e	34	31	32	32	3c	2f	42	3e	0d	0a	...<B>41 22</B>..
0090	09	09	3c	43	3e	34	30	32	31	3c	2f	43	3e	0d	0a	09	..<C>402 1</C>...
00a0	3c	55	6e	69	74	3e	6d	41	3c	2f	55	6e	69	74	3e	0d	<Unit>mA </Unit>.
00b0	0a	09	3c	2f	43	75	72	72	65	6e	74	3e	0d	0a	09	3c	..</Curr ent>...<
00c0	56	6f	6c	74	61	67	65	3e	0d	0a	09	09	3c	41	3e	31	Voltage> ....<A>1
00d0	33	33	30	3c	2f	41	3e	0d	0a	09	09	3c	42	3e	31	33	330</A>. ...<B>13
00e0	33	34	3c	2f	42	3e	0d	0a	09	09	3c	43	3e	31	33	33	34</B>.. ...<C>133
00f0	32	3c	2f	43	3e	0d	0a	09	3c	55	6e	69	74	3e	6d	56	2</C>... <Unit>mv
0100	3c	2f	55	6e	69	74	3e	0d	0a	09	3c	2f	56	6f	6c	74	</unit>. ...</volt
0110	61	67	65	3e	0d	0a	09	3c	50	6f	77	65	72	3e	0d	0a	age>...< Power>..
0120	09	09	3c	41	3e	35	36	31	36	35	3c	2f	41	3e	0d	0a	..<A>561 65</A>..
0130	09	09	3c	42	3e												..<B>

Obr. 9.5 Odeslaná data po XML

## 10. Závěr

V této bakalářské práci je rozvedena problematika měření spotřeby elektrické energie na 3-fázové soustavě (dobíjecí stojan pro elektromobily). Dále jsou rozvedeny problematiky komunikace po TCP/IP. Poté byl navržen digitální elektroměr založený na integrovaném obvodu ADE7878 a vývojovém kitu mikroprocesoru Stellaris LM3S8962 s integrovaným ethernetovým modulem. Návrh využívá Rogowskiho cívek jako senzorů proudu a odporového děliče napětí jako senzoru napětí.

Jelikož tato práce není mým prvním projektem v oblasti návrhu hardwaru, byl návrh zařízení zopakováním mých dovedností jako například tvorba a výroba desky plošných spojů v programu Eagle, osazování desky SMD součástkami a jejich pájení. I přes to, že to nebyl můj první návrh zařízení, udělal jsem docela hodně začátečnických chyb, na které jsem posléze přišel, opravil a vyrobil funkční prototyp elektroměru. I přes tyto nedostatky, byla tato práce pro mě obrovským přínosem a vtáhla mě do světa navrhování hardwaru ještě více.

Tato práce je mým druhým projektem v oblasti programování komunikace a úplně prvním projektem v programování mikroprocesorů. V průběhu programování jsem se seznámil s vývojovým prostředím CoCoX, principem programování mikroprocesorů a komunikací po I2C a TCP/IP. Dále jsem se naučil nastavovat dynamické a statické IP adresy vůbec celkově naprogramovat komunikaci po ethernetu. Dále jsem se seznámil s programem WireShark, který slouží k zobrazení komunikace TCP/IP.

Vyrobený prototyp je zatím pouhým konceptem a tudíž je potřeba několik věcí doladit jako třeba zlepšení výroby DPS, osazování a pájení součástek strojově. Dále přesněji vyrobít Rogowskiho cívkou pro možnost využití celého rozsahu ADE7878, protože já jsem využil pouze spodní část jejího měřicího rozsahu.

Možné rozšíření zařízení by se mělo ubírat směrem k integrování procesoru Stellaris na DPS k ADE7878 a vyvedením periférií na pinovou lištu od mikroprocesoru pro širší možnosti manipulace a zobrazování dat. Pro zvýšení rozsahu použitelnosti zařízení by bylo možné zavést místo pevného odporového děliče napětí, dělič napětí proměnný ovládaný MCU, čímž by zařízení získalo větší rozsah měřeného napětí. Dále by se mohl přidat LCD displej. Přidáním LCD displeje by získal i odběratel informaci o odebrané energii. Pro další zdokonalení by se měl vylepšený prototyp chvíli testovat na veřejnosti a ptát se odběratelů co by chtěli vylepšit. Teprve po prozkoumání trhu a zjištění přání zákazníka se může vyrobít konečný elektroměr. Jak tomu bývá v dnešní době, bude pořád pro někoho konečný elektroměr málo, a proto se bude stále s dobou vylepšovat.

## 11. Seznam použité literatury

- [1] Výkon 1-fázového a 3-fázového proudu [Online]., [cit2012-1-13].  
<[www.maturitanazamku.kvalitne.cz/pdf/ELN25B.pdf](http://www.maturitanazamku.kvalitne.cz/pdf/ELN25B.pdf)>
- [2] BANNETR,P. Měření spotřeby elektrické energie [Online]. 13.1.2009, [cit2012-1-13]. <[http://www.vosvdf.cz/cmsb/userdata/487/FVS\\_014\\_cviceni/014\\_mereni\\_prikonu.pdf](http://www.vosvdf.cz/cmsb/userdata/487/FVS_014_cviceni/014_mereni_prikonu.pdf)>
- [3] MIRONYUK, N. *The procedure for measuring electric power*. Measurement Techniques, ročník 49,2006: s.408. [cit. 2012-01-13]. <<http://dx.doi.org/10.1007/s11018-006-0123-7>>
- [4] CRAIG,L.King. *Compliant Active-Energy Meter Design Using The MCP3905A/06A*[online]. 2009 [cit. 2012-01-13]. <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00994a.pdf>>
- [5] VOJÁČEK, A. *Co je, k čemu je a jak funguje Rogowskiho cívka*. [Online]. 27.10.2007, [cit2012-1-13]. <http://automatizace.hw.cz/co-je-k-cemu-je-jak-funguje-rogowskeho-civka>
- [6] SCHWARZ, H. *Rogowského cívka*. [Online]. 14.2.2011 [cit2012-1-13].  
<http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/presne-mereni-stridavych-proudu-s-prevodniky-sigma-delta.html>
- [7] MUSIL, M. Bakalářská práce, *Využití Rogowskiho cívky při měření proudu a analýza dosažených parametrů*. 3.12.2009. [cit. 2012-01-13].
- [8] Kolektiv autorů, *Elektrotechnická měření*, 2006: s.103-107.ISBN 80-7300-022-9 [cit. 2012-01-13].
- [9] Kolektiv autorů, *Elektrotechnická měření*, 2006: s.108-110.ISBN 80-7300-022-9 [cit. 2012-01-13].
- [10] *Snímače elektrického proudu s Hallovo sondou*. [online]. 17.12.1998. [cit. 2012-01-13].  
<[http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=hallova%20sonda&source=web&cd=8&sqi=2&ved=0CEMQFjAH&url=http%3A%2F%2Fwww.honeywell.sk%2F%3Fcom%3Ddocuments%26id%3D91&ei=SvEKT\\_WhNqWE4gSTmYXxDw&usg=AFQjCNGJWxvXPoXF4FjO8VYt6YoBQQhkVA&cad=rja](http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=hallova%20sonda&source=web&cd=8&sqi=2&ved=0CEMQFjAH&url=http%3A%2F%2Fwww.honeywell.sk%2F%3Fcom%3Ddocuments%26id%3D91&ei=SvEKT_WhNqWE4gSTmYXxDw&usg=AFQjCNGJWxvXPoXF4FjO8VYt6YoBQQhkVA&cad=rja)>
- [11] Kolektiv autorů, *Elektrotechnická měření*, 2006: s.88-93.ISBN 80-7300-022-9 [cit. 2012-01-13].
- [12] BOUŠKA, P. *TCP/IP metody vysílání dat*. [Online].11.8.2008, [cit. 2012-1-13].  
<<http://www.samuraj-cz.com/clanek/tcpip-metody-vysilani-dat/>>
- [13] BOUŠKA, P. *Ethernet – CSMA/CD, kolizní doména, duplex*. [Online].3.8.2007, [cit. 2012-1-13]. <<http://www.samuraj-cz.com/clanek/ethernet-csmacd-kolizni-domena-duplex/>>
- [14] BOUŠKA, P. *TCP/IP – navázání a ukončení spojení*. [Online].3.8.2007, [cit. 2012-1-13].  
<<http://www.samuraj-cz.com/clanek/tcpip-navazani-a-ukonceni-spojeni/>>
- [15] *DHCP Host Configuration Protocol* [Online].14.12.2011, [cit. 2012-1-13].  
[http://cs.wikipedia.org/wiki/Dynamic\\_Host\\_Configuration\\_Protocol](http://cs.wikipedia.org/wiki/Dynamic_Host_Configuration_Protocol)
- [16] ZEŽULKA, F., HYNČICA, O. *Průmyslový ethernet I: Historický úvod* [Online].17.12.2007, [cit. 2012-1-13].  
<<http://www.uamt.feec.vutbr.cz/~zezulka/download/KPPA/A010741-I.pdf>>
- [17] MACNAR, T. *Síťový protokol TCP/IP* [Online]. [cit. 2012-1-13].  
<[http://www.maturita.cz/referaty/informatika/tcp\\_ip.htm](http://www.maturita.cz/referaty/informatika/tcp_ip.htm)>
- [18] *Ethernet*. [Online].28.3.2012, [cit2012-27-4].< <http://cs.wikipedia.org/wiki/Ethernet>>
- [19] SIMMONS, M. *Ethernet theory of operation* [Online].2008, [cit. 2012-1-13].  
<<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01120a.pdf>>

- [20] ANALOG DEVICES. *Polyphase multifunction Energy metering IC* [Online].17.5.2011, [cit. 2012-4-27]. <[http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/ADE7854\\_7858\\_7868\\_7878.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADE7854_7858_7868_7878.pdf)>
- [21] TEXAS INSTRUMENT. *Stellaris LM3S8962 Microcontroller* [Online].9.1.2012, [cit. 2012-4-27]. <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3s8962.pdf>>

## **12. Seznam příloh**

Příloha číslo 1 – Blokové schéma pro měření 3-fázového výkonu 1-fázovým čipem

Příloha číslo 2 – Blokové schéma tvořeného elektroměru

Příloha číslo 3 – Blokové schéma ADE7878

Příloha číslo 4 – Celkové zapojení napěťových vstupů

Příloha číslo 5 – Vrstva Bottom na DPS s rozmístěním součástek

Příloha číslo 6 – Vrstva Top pro osvětlení

Příloha číslo 7 – Vrstva Bottom pro osvětlení

Příloha číslo 8 – Vyrobený prototyp

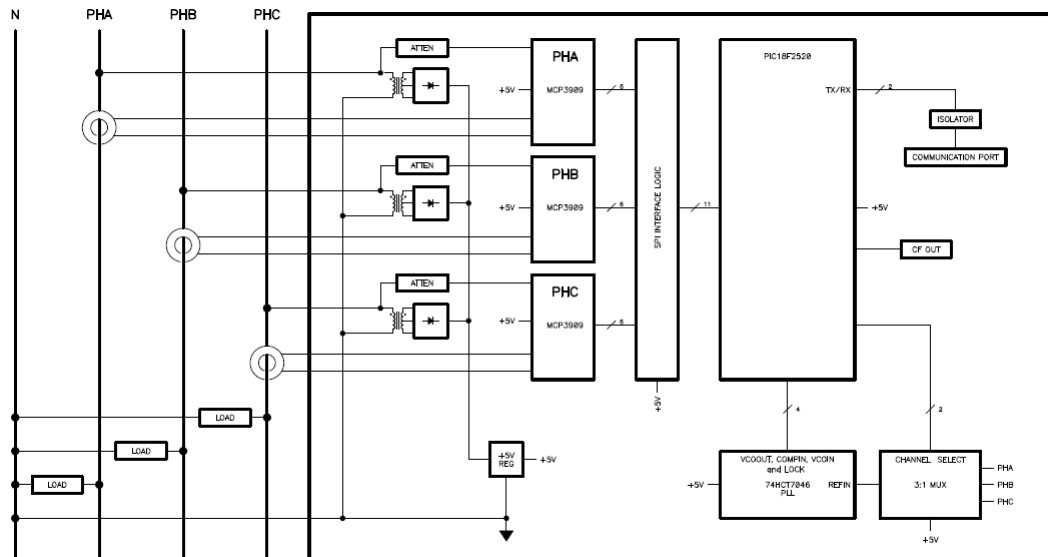
Příloha číslo 9 – Prototyp ve vyrobené krabici (2 pohledy)

Příloha číslo 10 – Pohled shora na DPS

Příloha číslo 11 – Seznam součástek

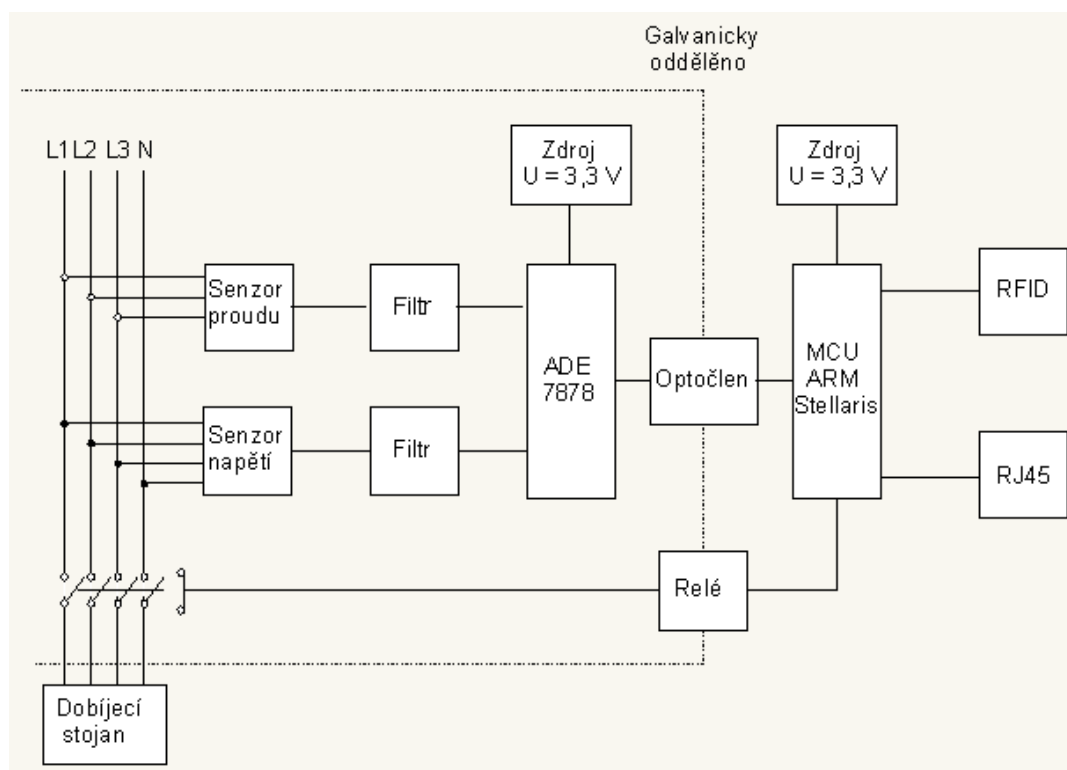
## 13. Přílohy

### Příloha číslo 1





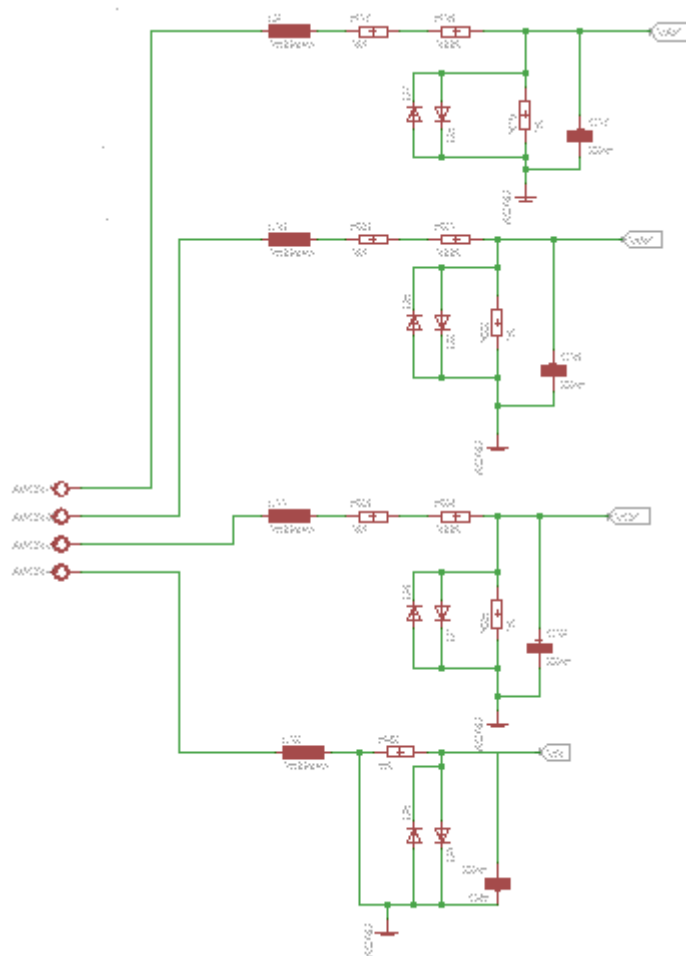
## Příloha číslo 2



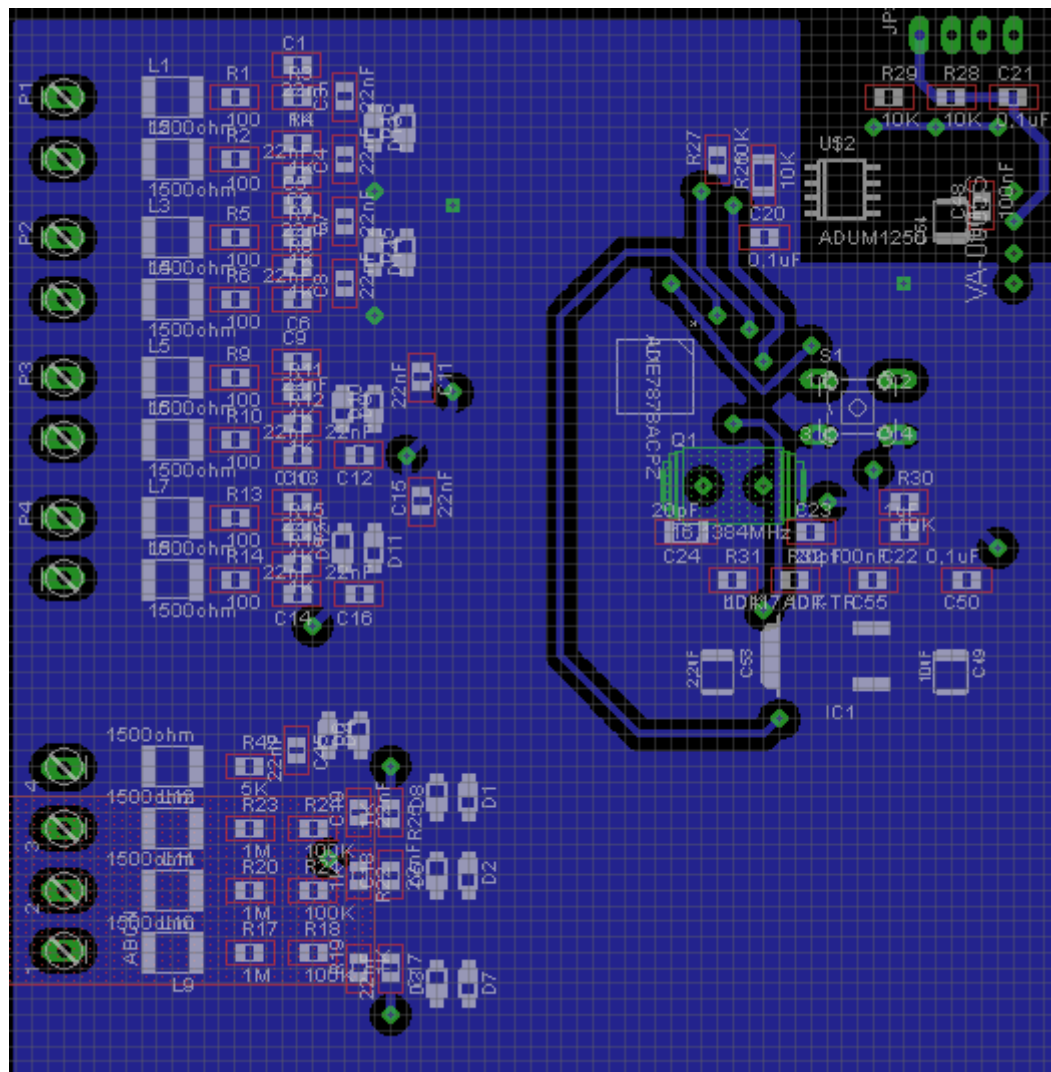
## Příloha číslo 3



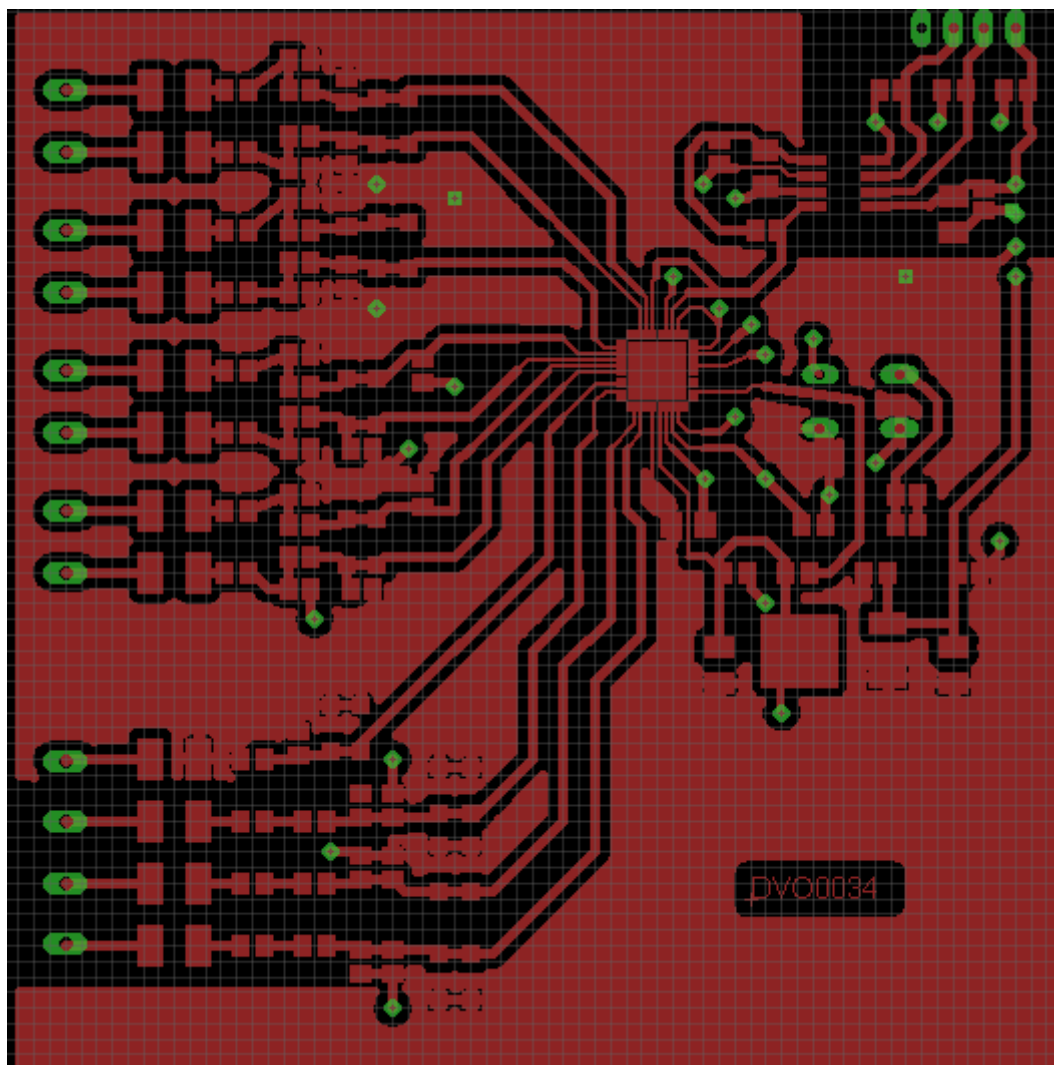
## Příloha číslo 4



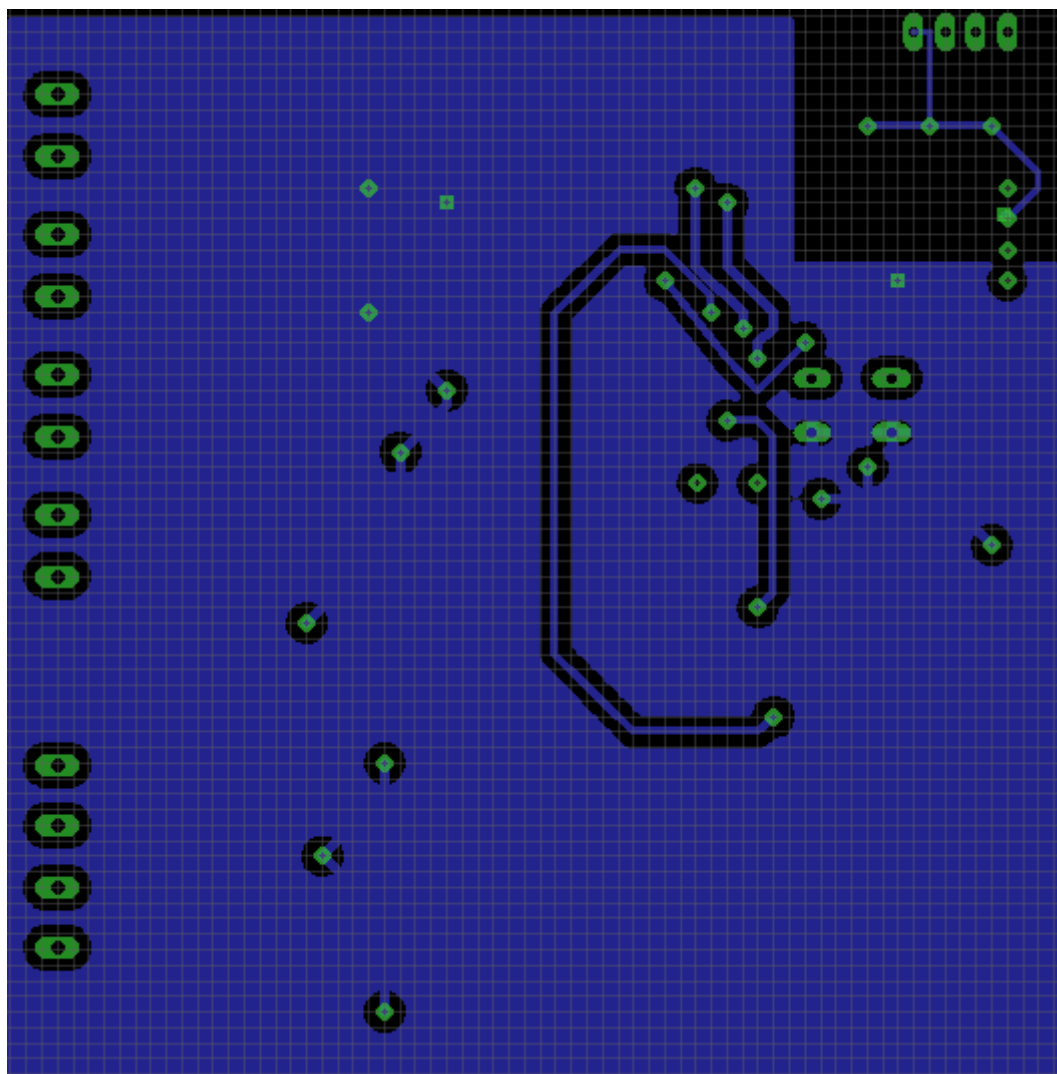
## Příloha číslo 5



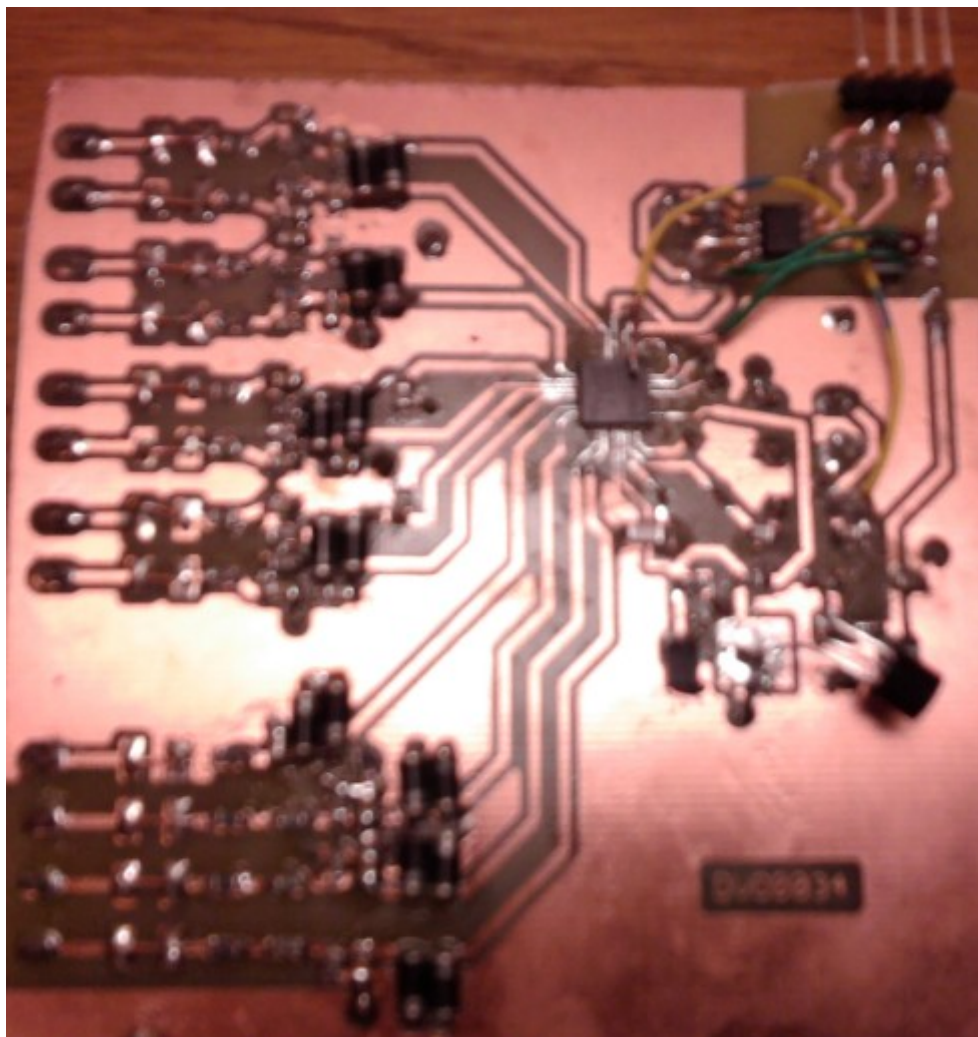
## Příloha číslo 6



## Příloha číslo 7



## Příloha číslo 8

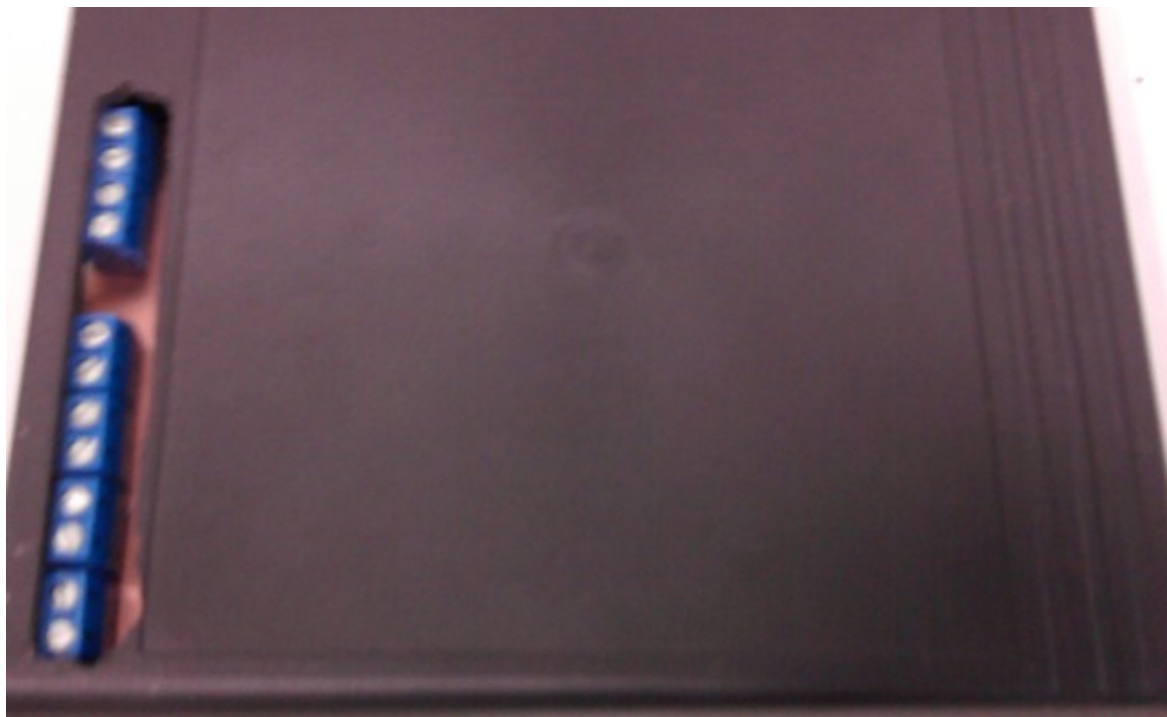


## Příloha číslo 9

Pohled z boku:

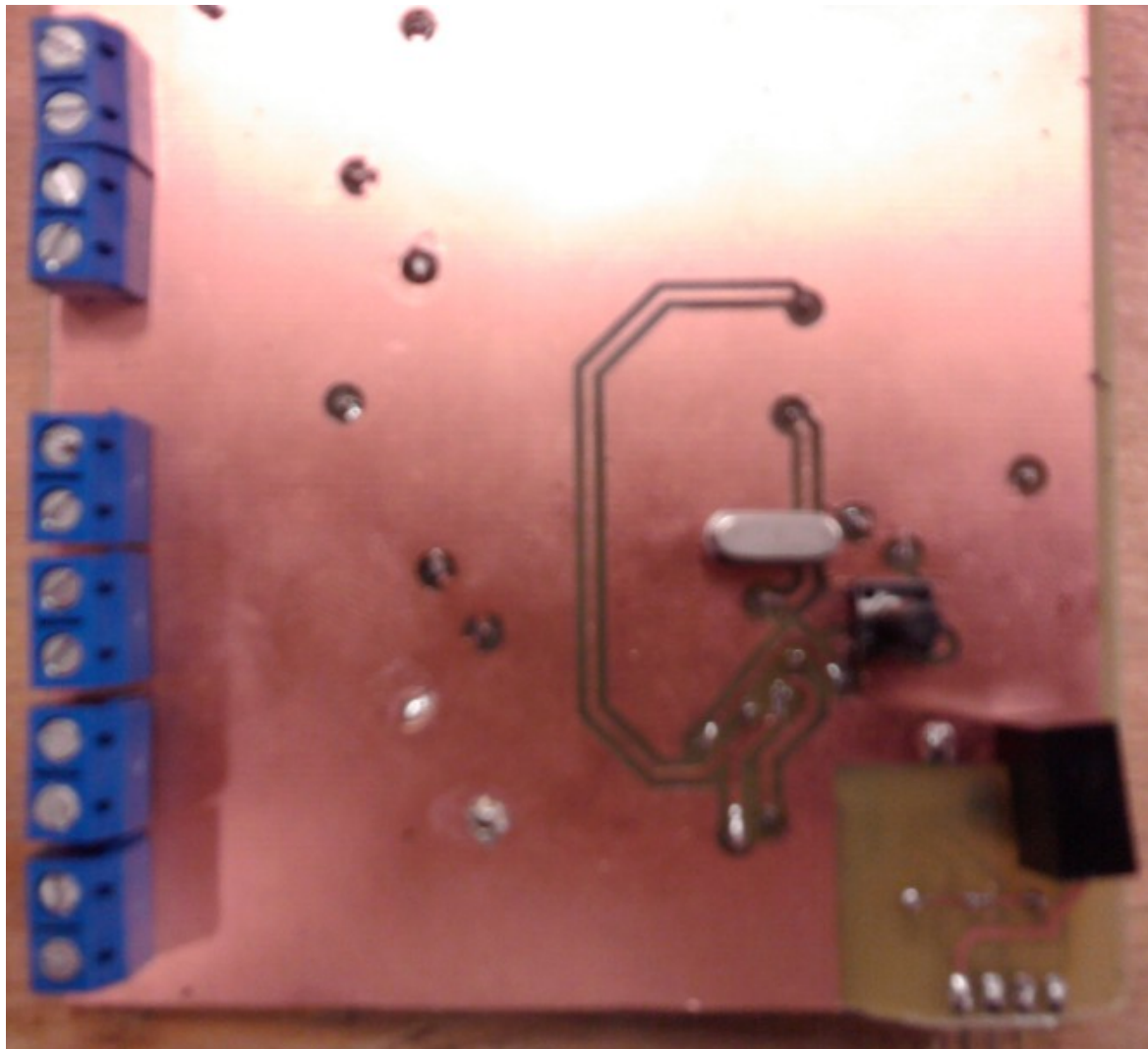


Pohled shora:





## Příloha číslo 10



## Příloha číslo 11

Part	Value	Package	Library
ABCN		W237-4	con-wago-500
C1	22nF	C0805	rel
C2	22nF	C0805	rel
C3	22nF	C0805	rel
C4	22nF	C0805	rel
C5	22nF	C0805	rel
C6	22nF	C0805	rel
C7	22nF	C0805	rel
C8	22nF	C0805	rel
C9	22nF	C0805	rel
C10	22nF	C0805	rel
C11	22nF	C0805	rel
C12	22nF	C0805	rel
C13	22nF	C0805	rel
C14	22nF	C0805	rel
C15	22nF	C0805	rel
C16	22nF	C0805	rel
C17	22nF	C0805	rel
C18	22nF	C0805	rel
C19	22nF	C0805	rel
C20	0,1uF	C0805	rel
C21	0,1uF	C0805	rel
C22	1uF	C0805	rel
C23	20pF	C0805	rel
C24	20pF	C1206	rel
C45	22nF	C0805	rel
C48	100nF	C0805	rel
C49	10uF	SMC_B	rel
C50	0,1uF	C0805	rel
C53	2,2uF	SMC_B	rel
C54	10uF	SMC_B	rel
C55	100nF	C0805	rel
D1		SOD123	diode
D2		SOD123	diode
D3		SOD123	diode
D4		SOD123	diode

D5		SOD123	diode
D6		SOD123	diode
D7		SOD123	diode
D8		SOD123	diode
D9		SOD123	diode
D10		SOD123	diode
D11		SOD123	diode
D12		SOD123	diode
D13		SOD123	diode
D14		SOD123	diode
D15		SOD123	diode
D16		SOD123	diode
DC1		VA-0505S	dc-dc-converter
IC1	LD117ADT-TR	DPACK	v-reg
JP3		1X04/90	pinhead
L1	1500ohm	L1812	rl
L2	1500ohm	L1812	rl
L3	1500ohm	L1812	rl
L4	1500ohm	L1812	rl
L5	1500ohm	L1812	rl
L6	1500ohm	L1812	rl
L7	1500ohm	L1812	rl
L8	1500ohm	L1812	rl
L9	1500ohm	L1812	rl
L10	1500ohm	L1812	rl
L11	1500ohm	L1812	rl
L12	1500ohm	L1812	rl
P1		W237-102	con-wago-500
P2		W237-102	con-wago-500
P3		W237-102	con-wago-500
P4		W237-102	con-wago-500
Q1	16,1384 MHz	HC49U70	crystal
R1	100	R0805	rl
R2	100	R0805	rl
R3	1K	R0805	rl
R4	1K	R0805	rl
R5	100	R0805	rl
R6	100	R0805	rl
R7	1K	R0805	rl
R8	1K	R0805	rl
R9	100	R0805	rl
R10	100	R0805	rl

R11	1K	R0805	rcl
R12	1K	R0805	rcl
R13	100	R0805	rcl
R14	100	R0805	rcl
R15	1K	R0805	rcl
R16	1K	R0805	rcl
R17	1M	R0805	rcl
R18	100K	R0805	rcl
R19	1K	R0805	rcl
R20	1M	R0805	rcl
R21	100K	R0805	rcl
R22	1K	R0805	rcl
R23	1M	R0805	rcl
R24	100K	R0805	rcl
R25	1K	R0805	rcl
R26	10K	R1206	rcl
R27	10K	R0805	rcl
R28	10K	R0805	rcl
R29	10K	R0805	rcl
R30	10K	R0805	rcl
R31	10K	R0805	rcl
R32	10K	R0805	rcl
R42	5K	R0805	rcl
S1		B3F-10XX	switch-omron
U\$2	ADUM1250	SO8	ADuM1250
U1	ADE7878ACPZ	QFN50P600X600X80-41N	ADE7878